



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Graduação em Engenharia Eletrônica**

**CODIFICAÇÃO DE SINAIS DE EEG USANDO
TRANSFORMADAS ORTOGONAIS**

**Autor: Vinícius Guimarães Hass
Orientador: Marcus Vinícius Chaffim Costa**

**Brasília, DF
2017**



Vinícius Guimarães Hass

**Codificação de Sinais de EEG Usando
Transformadas Ortogonais**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa

**Brasília, DF
2017**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Hass, Vinícius Guimarães.

Codificação de Sinais de EEG Usando Transformadas Ortogonais / Vinícius Guimarães Hass. Brasília: UnB, 2017. 154 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2016. Orientação: Marcus Vinicius Chaffim Costa.

1. Compressão de Sinais Biomédicos. 2. Eletroencefalografia.
 3. Decomposição em Valores Singulares 4 HEVC
- I. Vinícius Chaffim Costa, Marcus. II. Codificação de Sinais de EEG Usando Transformadas Ortogonais.

CDU Classificação



CODIFICAÇÃO DE SINAIS DE EEG USANDO TRANSFORMADAS ORTOGONAIS

Vinícius Guimarães Hass

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 07/07/2016, apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr. Marcus Vinícius Chaffim Costa, FGA/UnB
Orientador

Prof. Dr. Diogo Caetano Garcia, FGA/UnB
Membro Convidado

Prof. Dr. Vinícius de Carvalho Rispoli, FGA/UnB
Membro Convidado

Brasília, DF
2017

RESUMO

O eletroencefalograma (EEG) é um equipamento que detecta atividade cerebral. Ele é posicionado na cabeça do paciente para detectar os campos magnéticos gerado pelos neurônios de uma determinada região. Esses sinais podem ser usados para detectar doenças, verificar morte cerebral e para interface cérebro máquina. Porém o armazenamento digital dos resultados desse equipamento pode consumir muita memória de um computador, ou no caso da transferência de um sinal desse ele pode demorar para ser transmitido. Então nos últimos anos vem crescendo a busca por formas de armazenar esse sinal, também por que houve muita resistência entre os médicos no uso de técnicas de compressão para sinais biológicos. Inicialmente era somente aceito a compressão sem perdas, mas recentemente vem começando a ser aceito a compressão usando técnicas com perdas. Uma das formas de comprimir com perdas é usando codificadores já preestabelecidos. Os codificadores mais eficientes que se tem atualmente são usados para compressão de vídeo, que fazem uso normalmente de transformadas ortogonais. Como um vídeo é uma serie de imagens é possível transformar o sinal de um EEG, que é um vetor de dados, em uma imagem, e assim usar esses codificadores já preestabelecidos que tem um alto desempenho. Outra forma de buscar a compressão dos sinais de EEG é procurar fazer o uso de outras transformadas ortogonais, como a decomposição em valores singulares (SVD, do inglês *Singular Value Decomposition*), dessa transformada fazer alguma forma de compressão com perdas, e por fim fazer uma compressão sem perdas, já que é possível utilizar as duas técnicas em conjunto, sendo que seja redundante o processo. Após determinado como é feito o uso tanto para um codificador já estabelecido, neste trabalho foi usado o Codificador de vídeo de alta eficiência (HEVC, do inglês *High Efficiency Video Coding*) e um codificador proposto usando SVD. É usada uma base de dados já testada para poder analisar o quanto o sinal é distorcido para determinados valores de compressão. Por fim pode-se comparar os dois codificadores.

Palavras-chave: EEG, SVD, HEVC, Processamento Digital de Sinais, Compressão de Sinais.

ABSTRACT

The electroencephalogram (EEG) is an equipment that detects brain activity, it is positioned in the head of the patient to detect the magnetic fields generated by neurons of a certain zone of the brain, these signals can be used to detect basic diseases, check brain death and can be used in brain interface machine. However, the digital storage of the results of this equipment can consume memory of a computer, or in the case of the transfer of a signal from that it may take time to be transmitted, then in recent years the research for ways to store this signal has grown, also because there was a lot of resistance among the Physicians in the use of compression techniques for biological signals. Initially only lossless compression was accepted, but techniques of compression with loss has recently begun to be accepted. One of the ways to compress with loss and using encoders already pre-established. The most efficient compressors in these days are used for video compression, which typically make use of orthogonal transforms. As a video is a series of images it is possible to transform the signal of an EEG that is a vector of data, into an image, and thus use these already pre-established compressors that have a high performance. Another way to look for a compression of the EEG signals is to look for the use of other orthogonal transformations, such as a singular value decomposition (SVD), and from that transform to do some form of lossy compression, and finally to make a lossless compression, and use the two techniques together, without being redundant the process. After determining how the use is made for an already established compressor, in this work has been used the HEVC, and a compressor proposed using SVD, is used a database already tested to be able to analyze how much of the signal is distorted for certain compression values; and finally be able to compare the two compressors.

Keywords: EEG, SVD, HEVC, Digital Signal Processing, Signal Compression.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CR – *Compression Ratio* (Razão de compressão)

DCT – *Discrete cosine transform* (Transformada de cossenos discreta)

EEG – Eletroencefalografia, Eletroencefalograma

H.265 – Codificador de Vídeo, também chamado de HEVC

HEVC – *High Efficiency Video Coding* (Codificador de video de alta eficiência)

ICM – Interface Cérebro-Máquina

ITU – *International Telecommunication Union* (União Internacional de Telecomunicações)

MPEG – *Moving Picture Experts Group* (Grupo de Especialistas em Vídeo)

MSR – *Mean Square Error* (Erro quadrático médio)

PRD – *Percentage Root mean Difference* (Raiz da Diferença média quadrática Percentual)

QP – *Quantization parameter* (parâmetro de quantização)

SNR – *Signal to Noise Ratio* (Razão sinal ruído)

SVD – *Singular Value Decomposition* (Decomposição em Valores Singulares)

UHDTV – *Ultra-High-Definition Television* (Televisão ultra-alta definição)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema nervoso central (Kandel <i>et al.</i> , 2014).....	18
Figura 2: As quatro regiões que compõem cada hemisfério do cérebro (Kandel <i>et al.</i> , 2014).	19
Figura 3: Membrana celular carregada de íons positivos, no meio extracelular, e íons negativos, no meio intracelular (Kandel <i>et al.</i> , 2014).	21
Figura 4: Planos Sagital e Coronal, (A) plano Sagital, (B) plano Coronal. (Fields <i>et al.</i> , 2016).	23
Figura 5: Sistema 10-10 (Fields <i>et al.</i> , 2016).....	23
Figura 6: Demonstração de um potencial de ação centrado no eletrodo F8 com uma voltagem negativa no valor de $100\mu\text{V}$ e o espalhamento do campo sobre o escalpo do paciente. (Fields <i>et al.</i> , 2016).	24
Figura 7: (a) processo de amplificação simples dos sinais do EEG; (b) processo de amplificação diferencial, em que o resultado do amplificador é a diferença de dois sinais (Fields <i>et al.</i> , 2016).....	25
Figura 8: (a) Princípio da localização bipolar. A figura mostra um pico de $-100\mu\text{V}$ no eletrodo F8. A diferença dos eletrodos faz com que ocorram picos e vales nos canais sucessores e antecessores, respectivamente. Como as entradas dos amplificadores seguem de forma encadeada, ocorre na saída o que é chamado de reversão de fase. (b) Princípio da gravação referencial, em que todos os eletrodos estão conectados a um terra comum, fazendo com que não ocorra a reversão de fase (Fields <i>et al.</i> , 2016).....	26
Figura 9: Processos de compressão sem perdas e com perdas. Assume-se que $\mathbf{H}(\cdot)$ é o processo de compressão e $\mathbf{H}(\cdot)^{-1}$ é o processo de descompressão, \mathbf{A} são os dados originais, \mathbf{D} são os dados comprimidos e \mathbf{A}' é a reconstrução aproximada dos dados de entrada.	27
Figura 10: Procedimento de codificação da árvore binária de Huffman. No exemplo, a_2 tem 40% de chances de ocorrer, a_1 e a_3 tem 20% de chances de ocorrer, a_4 e a_5 tem 10% de chances de ocorrer (Sayood, 2012).	28
Figura 11: Processo de codificação aritmética para os símbolos a_1 com probabilidade de 70%, a_2 com probabilidade de 10% e a_3 com probabilidade de 20%. A sequência codificada é $[a_1 a_2 a_3]$ e uma possível tag seria 0.54560 (Sayood, 2012).	29
Figura 12: Diagrama de blocos simplificado de: (A) Codificador por transformadas. (B) Decodificador por transformadas.....	30
Figura 13 Representação gráfica da norma de 2 (Trefethen <i>et al.</i> , 1997 – modificado)	31
Figura 14: Demonstração gráfica das matrizes \mathbf{A} , \mathbf{V} , \mathbf{U} e Σ (Trefethen <i>et al.</i> , 1997 – modificado).....	32
Figura 15: Representação matricial de \mathbf{A} , \mathbf{V} , \mathbf{U} e Σ (Trefethen <i>et al.</i> , 1997– modificado).	33
Figura 16: Bases da DCT (Sayood, 2012).	36
Figura 17: Exemplos de blocos 8×8 de predição da luminância no modo intra do HEVC. Os efeitos da predição e pós-processamentos podem ser vistos nas bordas superiores e inferiores (Sze <i>et al.</i> , 2014).....	38
Figura 18: Direções angulares no modo de predição intra do HEVC (Sze <i>et al.</i> , 2014).....	39
Figura 19: Diagrama de blocos simplificado do HEVC. (a) Codificador, (b) Decodificador. \mathbf{C} é a matriz de transformação da DCT e o Qstep é o passo de quantização (Modificado de Sze <i>et al.</i> , 2014).	39

Figura 20: Diagrama de blocos do CABAC (da perspectiva do codificador): Binarização, modelamento em contexto (incluindo estimadores de probabilidade e atribuição) e codificação aritmética. Em vermelho: gargalos potenciais de rendimento. (Modificado de Sze <i>et al.</i> , 2014).	42
Figura 21: Conversão de sinal original em uma matriz bidimensional (Costa <i>et al.</i> , 2009a, p. 28).....	44
Figura 22: Matriz sem reorganizar, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512 x 1800.	45
Figura 23: Matriz sem reorganizar, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512x 1800	45
Figura 24: Matriz reorganizada por maior correlação, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512x 1800.	46
Figura 25: Matriz reorganizada por maior correlação, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512 x 1800.	46
Figura 26: Matriz reorganizada por variância, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.	47
Figura 27: Matriz reorganizada por variância, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.	47
Figura 28: Matriz reorganizada por complexidade, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.....	48
Figura 29: Matriz reorganizada por Complexidade modificada, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.	48
Figura 30: Diagrama codificador usando SVD.....	49
Figura 31: Diagrama decodificador usando SVD.....	50
Figura 32: Diagrama codificador usando HEVC.....	51
Figura 33: Diagrama decodificador usando HEVC.....	52
Figura 34: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, sem reorganização.	58
Figura 35: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por complexidade.....	59
Figura 36: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por maior correlação.	59
Figura 37: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por variância.	60
Figura 38: Curvas para os principais valores de CF Sem Reorganização.....	61
Figura 39: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por complexidade.	61
Figura 40: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por variância.....	62
Figura 41: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por Maior Correlação	62
Figura 42: Superfície com os resultados da compressão usando SVD	64
Figura 43: Curva das principais CF para o SVD.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplos de diferentes tipos de binarização (Sze <i>et al.</i> , 2014)	40
Tabela 2: Melhores resultados de PRD para determinado CF e Reorganização.....	56
Tabela 3: Melhores resultados de SNR para determinado CF e Reorganização.....	57
Tabela 4: Tabela com os melhores valores de PRD e SNR e o respectivo tamanho de janela para cada CF	63

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	10
SUMÁRIO	11
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivos gerais	15
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	16
2 SINAIS DE ELETROENCEFALOGRAFIA	17
2.1 TEMAS DE ANATOMIA E FISIOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL	17
2.1.1 O Cérebro	18
2.1.2 O Neurônio	19
2.1.3 Potencial de Ação	20
2.2 CAPTAÇÃO DO SINAL DE EEG.....	22
2.2.1 Eletrodos de Superfície.....	22
2.2.2 Condicionamento e Aquisição dos Sinais	24
3 COMPRESSÃO DE SINAIS.....	27
3.1 CODIFICADORES DE ENTROPIA.....	27
3.1.1 Codificador de Huffman.....	28
3.1.2 Codificação Aritmética.....	28
3.2 COMPRESSÃO POR TRANSFORMADAS ORTOGONAIS.....	29
3.3 DECOMPOSIÇÃO EM VALORES SINGULARES (SVD).....	31
3.3.1 SVD de Ordem Reduzida	33
3.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO POSTO DO SVD	34
3.4.1 Critério da Informação de Akaike (AIC).....	34

3.4.2 MDL	35
3.5 TRANSFORMADA DE COSSENOS DISCRETA (DCT)	36
3.5.1 Quantização da DCT	37
3.6 CODIFICADOR HEVC	37
3.6.1 Modo intra do HEVC	38
3.6.2 Codificador Aritmético Binário Adaptativo Baseado em Contexto (CABAC)	39
3.6.3 Aprimoramentos RExt do HEVC	42
4 METODOLOGIA	43
4.1 LEITURA DOS DADOS	43
4.2 RECORTE TEMPORAL DO SINAL E FORMAÇÃO DO SINAL 2D	43
4.2.1 Estudo sobre o comprimento de janela retangular para o recorte temporal	43
4.2.2 Métodos de reordenamento das janelas de sinal	44
4.3 CODIFICADORES PROPOSTOS	49
4.3.1 Codificador baseado em SVD reduzido	49
4.3.2 Codificador baseado em HEVC	50
4.4 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO OBJETIVA	52
4.4.1 Métricas de distorção	53
4.4.2 Métricas de compressão	53
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 BASE DE DADOS	55
5.2. HEVC	55
5.1.1 Influência da Reorganização	58
5.1.2 Influência do Tamanho de Janela	63
5.2 SVD	63
5.2.1 A Influência do Tamanho de Janela	63
5.2.2 A Ordem Ótima de Acordo com os critérios de AIC e MDL	65
5.3 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DA LITERATURA	65
6 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICES	73

1 INTRODUÇÃO

A eletroencefalografia (EEG) é o registro do sinal elétrico do encéfalo. A recepção dos sinais ocorre por regiões, haja vista que os eletrodos de captação do EEG são posicionados em contato com a superfície do couro cabeludo do paciente. Deste modo, é possível analisar a variação do campo eletromagnético, que acontece com a alteração do potencial de campo de vários neurônios, mudando de estado naquela região (Kandel *et al.*, 2014).

O eletroencefalograma é altamente sensível à presença de patologias localizadas. Muitas patologias levam à desaceleração difusa, bem como o atraso do ritmo dominante posterior, como doença de Alzheimer, demência multi-infarto, vários distúrbios do metabolismo causados por tóxicos, estados postictais (estado alterado de consciência após um ataque epilético) e lesão cerebral congênita (Fields *et al.*, 2016).

Determinadas faixas de frequências no EEG recebem nomes específicos. Ondas *alpha* representam frequências de 8Hz até 13Hz. Algumas substâncias e patologias estão ligadas a diminuição da frequência no ritmo dominante posterior (ritmo na região posterior da cabeça), estas incluem (mas não estão limitadas a) efeitos de medicações, tal como fenitoína ou ácido valpróico, demências precoces, aumento da pressão intracraniana, hipotireoidismo e outros distúrbios metabólicos, tais como insuficiência hepática (Fields *et al.*, 2016).

Ondas de atividade *beta* estão entre as frequências de 13Hz e 30Hz; costumam estar presentes somando-se a ondas de outras frequências. Um dos pontos mais importantes a ser analisado quando se observa as ondas *beta* é a assimetria inter-hemisférica. Em particular, o lado de amplitude reduzida geralmente aponta para o hemisfério patológico. Exemplos incluem infartos agudos e remoto, como coletas subdurais e porencefalia (que é uma desordem que afeta o sistema nervoso central, caracterizada pelo aparecimento de cistos ou cavidades em um hemisfério cerebral) (Fields *et al.*, 2016).

Ondas de atividade *theta* estão entre as frequências de 4Hz até 8Hz, e normalmente estão presentes em adultos acordados, embora elas possam estar completamente ausentes. Em pacientes em coma que sofreram danos cerebrais catastróficos, a onda *theta* pode ser vista de forma difusa (Fields *et al.*, 2016).

Ondas de atividade *delta* são de frequências menores que 4Hz. Por regra, elas não estão presentes em adultos totalmente acordados. A presença dessas ondas em adultos totalmente acordados pode significar disfunção cerebral. Porém, ondas Deltas estão presentes, e são importantes, no sono de um indivíduo adulto (Fields *et al.*, 2016).

A verificação da morte cerebral é um procedimento clínico muito importante. Algumas vezes é possível fazer o coração voltar a bater, mas não existe um procedimento que possa realizar a reanimação do cérebro. Deste modo, o EEG pode ser requisitado para confirmar a morte cerebral de um paciente. A inatividade elétrica cerebral é definida como a ausência de qualquer tipo de onda de origem cerebral. Para provar a morte cerebral, o exame não deve ter nenhuma atividade que exceda $2\mu\text{V}$, exceto no caso de artefatos externos, como um artefato cardíaco. O filtro passa-banda deve ter uma faixa de frequência de passagem entre 0,5 Hz e 70 Hz, e o exame deve ser realizado durante, pelo menos, 30 minutos (Fields *et al.*, 2016).

O sinal de eletroencefalografia também pode ser utilizado para constituir interfaces cérebro-máquina (ICM), em que os resultados de variações dos potenciais de campo dos eletrodos são interpretados por um sistema ou algoritmo para exercerem determinadas funções. Exemplos do uso de interface cérebro-máquina são próteses, cadeiras de rodas robóticas ou o cursor de um computador. Normalmente esses sistemas de ICM demandam muita atenção e necessitam que sejam enviados comandos repetidamente. Como o EEG exprime valores potenciais de regiões do cérebro, esses sistemas são treinados ou projetados para reconhecerem determinados padrões de comandos em determinadas regiões do cérebro (Chavarriaga *et al.*, 2010).

Como os dados do EEG digitalizado podem ocupar espaço em disco ou largura de banda de transmissão consideravelmente grandes dependendo do número de canais, da resolução do conversor analógico-digital, da frequência de amostragem do sinal e do tempo de duração do procedimento, muitas vezes é necessário comprimir esses dados para armazenamento ou para a transmissão dos dados de EEG.

Entretanto, pela natureza dos codificadores e dos sinais do EEG, é necessário tomar certas decisões dos parâmetros escolhidos no codificador ou usar alguma técnica de compressão em que possa ser evitado demasiado ruído, a fim de que não se perca informação relevante dos sinais obtidos.

Srinivasan *et al.* (2013) apresentam um trabalho para compressão de EEG utilizando técnicas de processamento de imagens (matrizes bidimensionais). Esta abordagem, baseada na Transformada de *wavelets*, também é aplicada a volumes de dados (tensores tridimensionais), cuja composição é obtida a partir do recorte temporal do sinal de um número variado de canais. Aplicando esta técnica, os autores propõem comprimir o sinal de um único canal e, usando uma técnica análoga, comprimir o sinal de diversos canais. Após essa compressão (que é considerada uma compressão com perdas; em inglês, *lossy compression*), vários métodos de compressão

sem perdas (do inglês, *lossless compression*) são usados para armazenar de forma reduzida os coeficientes oriundos da transformada.

Hossain *et al.* (2016) comparam a eficiência de Transformadas de *Wavelets*, Transformada de Fourier e SVD para a compressão de imagens. É feita uma comparação da reconstrução das imagens usando a mesma porcentagem de dados e mostra-se que para esse tipo de abordagem, o SVD é menos eficiente que as outras duas transformadas.

Dauwels *et al.* (2013) propõem uma forma de comprimir os dados gerados pelo SVD em seu trabalho. Tenta-se aplicar técnicas de compressão quase sem perdas (em inglês, *near-lossless compression*), para reduzir os dados obtidos da transformação do SVD aplicada a sinais de EEG multicanal. No trabalho é mostrada uma proposta para reduzir as matrizes de rotação fazendo uso de codificadores aritméticos. Contudo, limita-se o uso das casas decimais que vão ser transformadas em números binários, a fim de reduzir o número de bits que será necessário codificar aritmeticamente.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com o aumento da capacidade de transmissão de dados pela internet, vem se tornando mais comum o uso de consultas médicas online, em que um paciente pode enviar os resultados de seus exames a um médico a distância e receber diagnósticos.

Porém muitas vezes os exames são comprometidos por causa de como é feito o armazenamento da informação para ser enviada. Isso pode ocorrer no caso do EEG, que é o sinal de regiões do cérebro amostrada em grupos de neurônios, em que diagnósticos usam da análise de padrões dos dados.

Esse trabalho busca uma forma de diminuir os dados necessários para descrever o sinal de EEG, perdendo o mínimo de informação e tentando não distorcer o sinal.

Além da aplicação biomédica do processamento do sinal de EEG, o método pode ser estendido a outros sinais biológicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

O presente trabalho consiste na implementação de codificadores de sinais de EEG. Duas abordagens são propostas: a primeira baseada em SVD e seleção de ordem de decomposição; a segunda utilizando HEVC. É estabelecida uma comparação entre as duas abordagens.

1.2.2 Objetivos específicos

- I. Reconstrução de um sinal unidimensional em uma matriz bidimensional;
- II. Reorganização de matriz bidimensional para análise das características do HEVC aplicadas em matrizes de maior correlação;
- III. Uso de teoria da informação para achar o melhor valor para truncar a matriz Σ do SVD;
- IV. Análise da distorção gerada pela redução de ordem do modelo selecionado e pela variação do parâmetro de quantização;
- V. Validação da taxa de compressão.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo dois introduz conceitos sobre EEG, apresentando primeiro o funcionamento fisiológico da parte do corpo em que é aplicado essa técnica. Explica-se o que é o sistema nervoso central e sua importância e então introduz-se de forma rápida o que é o cérebro, onde se deseja aplicar a técnica da eletroencefalografia. Por fim, na parte de fisiologia, é explorado o neurônio e como ele funciona, assim introduzindo o conceito de potencial de ação, que é o que o procedimento vai tentar medir. Na segunda parte do capítulo dois é apresentado mais sobre o aparelho em si, explicando como ele realiza as medições, a forma como é disposta os eletrodos e, por fim, como deve ser tratado o sinal, tanto do ponto de vista das técnicas de amplificação, quanto do ponto de vista de remoção dos ruídos.

No capítulo 3 é discutida a compressão dos sinais. A seção 3.1 aborda duas formas de comprimir um sinal sem perda de informação. Na seção 3.2 trata-se sobre o uso de transformadas ortogonais e o motivo pelo qual serem interessantes para a compressão de sinais. Na seção 3.3 é apresentada uma introdução à teoria da informação e como ela pode ser utilizada para escolher a ordem ótima do SVD para comprimir os sinais. Finalmente, na seção 3.4 é explicado o H.265 (HEVC), um codificador de vídeo já estabelecido, que foi usado para comparar os resultados adquiridos pelo codificador proposto.

A metodologia utilizada é explicada no capítulo 4, que descreve os procedimentos propostos ou replicados nesse trabalho para obter os resultados e as métricas utilizadas para analisar os resultados.

No capítulo cinco os resultados obtidos são apresentados, explicados e discutidos.

As conclusões finais sobre os resultados obtidos, assim como a comparação com os objetivos propostos e as expectativas de resultados são apresentadas no capítulo seis.

2 SINAIS DE ELETROENCEFALOGRAFIA

Eletroencefalografia é uma técnica para adquirir os sinais da transmissão de informações dos neurônios dentro do cérebro humano. Esses sinais gerados pelo cérebro podem descrever doenças, ações do corpo humano, como os movimentos realizados pelos membros, e a ausência desses sinais pode ser utilizada para determinar morte cerebral. Alguns usos mais incomuns são para realizar a interface cérebro máquina, em que a velocidade de interpretação dos sinais pode ser crucial (Fields *et al.*, 2016).

2.1 TEMAS DE ANATOMIA E FISIOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

Todos os comportamentos, das respostas reflexivas simples aos atos mentais complexos, são produto da sinalização entre neurônios interconectados de modo apropriado. O simples ato de bater em uma bola de tênis com uma raquete necessita de muitas informações e decisões tomadas pelo encéfalo. A informação visual acerca do movimento de aproximação da bola é analisada pelo sistema visual, sendo combinada com informação perceptiva da posição dos membros e do tronco para assim tomar uma decisão de como deve ser realizado o movimento para interceptar a bola. Quando o movimento se inicia, muitos pequenos ajustes são tomados no sistema motor, com base no fluxo constante de informação sensorial sobre a trajetória da bola que se aproxima. A conclusão da ação é acessível a consciência, e assim provocaria a memória e as emoções. Sem consciência pelo indivíduo o encéfalo pode alterar a frequência cardíaca e respiratória (Kandel *et al.*, 2014).

O sistema nervoso central tem duas partes principais, a medula espinhal e o encéfalo. O encéfalo compreende seis estruturas principais: o bulbo, a ponte, o cerebelo, o mesencéfalo, o diencéfalo e o cérebro (Fig. 1) (Kandel *et al.*, 2014)

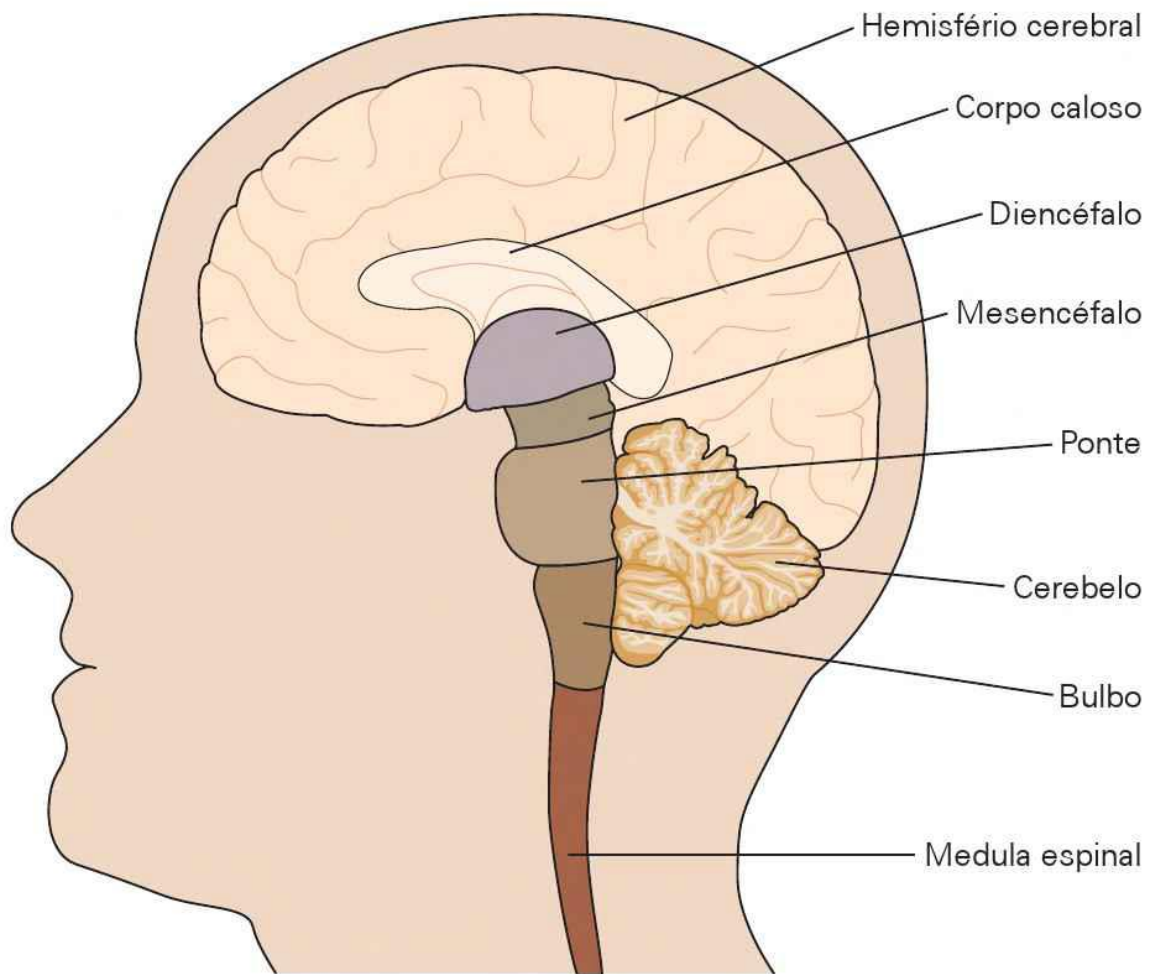


Figura 1: Sistema nervoso central (Kandel *et al.*, 2014).

2.1.1 O Cérebro

As operações responsáveis pela capacidade cognitiva humana ocorrem principalmente no córtex cerebral, a matéria cinzenta cheia de sulcos que recobre os dois hemisférios cerebrais, direito e esquerdo. Em cada um dos hemisférios, o córtex que os recobre é dividido nos lobos frontal, parietal, occipital e temporal (Fig. 2) (Kandel *et al.*, 2014).

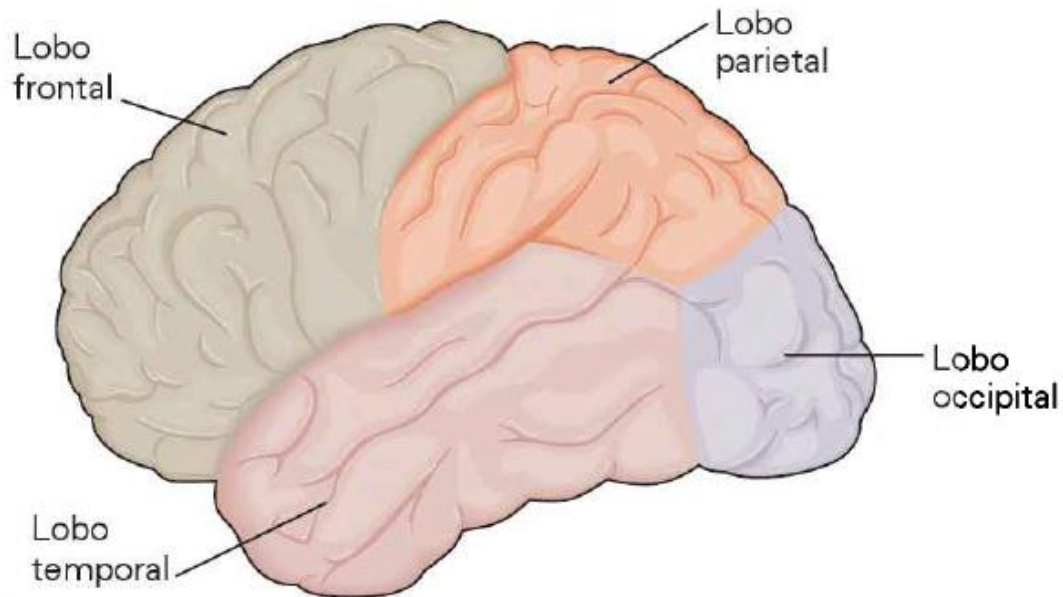


Figura 2: As quatro regiões que compõem cada hemisfério do cérebro (Kandel *et al.*, 2014).

Cada lobo tem um conjunto de funções especializadas: o lobo frontal está relacionado à memória de curto prazo, controle do movimento, e planejamento futuro; o lobo parietal está relacionado com a formação de uma imagem corporal e a relação do corpo com o espaço extrapessoal; o lobo occipital está relacionado com a visão; e o lobo temporal está envolvido com a audição e, por meio de suas estruturas profundas, o hipocampo e os núcleos da amígdala, com o aprendizado, a memória e a emoção (Kandel *et al.*, 2014).

2.1.2 O Neurônio

As células que formam o sistema nervoso compartilham de semelhanças com as outras células do corpo de forma geral. Porém, os neurônios são capazes de transmitir informações de forma rápida e precisa para outras células em locais distantes no corpo. Essa qualidade é proporcionada por duas características.

A primeira é que os neurônios são assimétricos, de forma funcional e morfológica: os neurônios apresentam dendritos receptores em uma extremidade e um axônio transmissor na outra, como representado na Fig. 3.

A segunda característica que os neurônios apresentam é que eles são eletricamente e quimicamente excitáveis. Os neurônios têm proteínas especializadas, que facilitam o fluxo de íons inorgânicos específicos. Desse modo, eles são capazes de criar correntes elétricas que alteram a voltagem através da membrana. Essa mudança de tensão pode produzir, ao longo do axônio, uma onda de despolarização na forma de potencial de ação, que é como um sinal costuma viajar pelos neurônios.

Mudanças rápidas no potencial de uma membrana que fundamenta a sinalização pelo sistema nervoso são medidas por canais iônicos, uma classe de proteínas integrais encontradas em todas as células do organismo. Os canais iônicos das células nervosas se desenvolvem para responder a sinais físicos e químicos específicos. Eles também são heterogêneos. Em cada parte do sistema nervoso, as células nervosas se desenvolvem para que os canais iônicos realizem tarefas específicas.

Devido a importância dos canais iônicos na sinalização elétrica, seu mau funcionamento pode causar uma variedade de doenças, como: fibrose cística, doenças do músculo esquelético e certos tipos de arritmias cardíacas.

2.1.3 Potencial de Ação

O funcionamento do encéfalo depende da capacidade das células nervosas responderem a estímulos, de várias intensidades, e com rapidez. Isso ocorre através da diferença de potencial elétrico gerado na membrana celular como uma resposta a esse estímulo. Nas células sensoriais, os estímulos externos são interpretados pelo sistema nervoso como alterações na diferença de potencial da membrana. Um olho pode responderem a um simples fóton de luz. Neurônios olfatórios detectam uma simples molécula de substância odorífera. Essas respostas sensoriais levam a geração de um potencial de ação durante o qual o potencial de uma membrana é alterado em até 500 volts por segundo (Kandel *et al.*, 2014).

A corrente através de um único canal varia linearmente com o potencial da membrana, isto é, o canal se comporta como um resistor. Ele pode, então, ser descrito pela lei de Ohm $i = V / R$, na qual a corrente através desse único canal é i , V é a voltagem através da membrana, e R é a resistência do canal aberto. A resistência de um único canal aberto é aproximadamente $8 \times 10^{10} \Omega$.

As informações dentro dos neurônios são transferidas para a célula alvo através de sinais elétricos e químicos. As informações na forma de sinal elétrico funcionam como um sinal elétrico de forma transitória, variando a diferença de potencial elétrico de uma determinada tensão de repouso. Esses sinais são importantes por conduzirem informações sensíveis ao tempo de forma rápida e por longas distâncias. (Kandel *et al.*, 2014, p. 112)

A membrana celular do neurônio tem uma fina nuvem de íons positivos e negativos distribuídos sobre suas superfícies interna e externa. Na Fig. 3 é possível ver a disposição das cargas sendo separadas por uma camada da membrana. A separação dos íons cria um potencial elétrico, que é chamado de potencial de membrana. O potencial de membrana da célula em estado de repouso é chamado de potencial de repouso da membrana. Por convenção, o potencial

fora da célula é definido como o zero, ou terra, dentro do conceito de circuitos elétricos. Desse modo o potencial de repouso é igual ao potencial do lado interno da célula, que fica em torno de -60 mV a -70mV (Kandel *et al.*, 2014, p. 113).

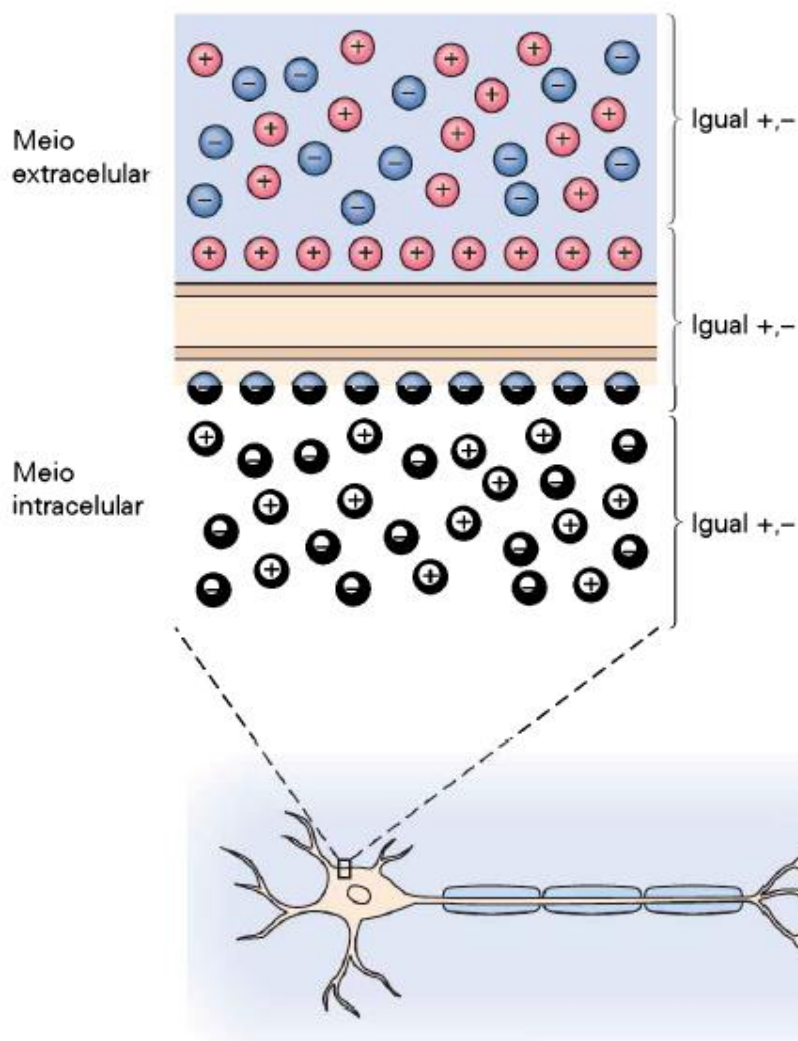


Figura 3: Membrana celular carregada de íons positivos, no meio extracelular, e íons negativos, no meio intracelular (Kandel *et al.*, 2014).

Mudanças no potencial de membrana que não levam a abertura dos canais iônicos dependentes de voltagem são respostas passivas da membrana e são chamadas de potenciais eletrônicos. Quando uma polarização atinge o nível crítico, ou limiar, a célula responderá ativamente abrindo os canais iônicos dependentes de voltagem, gerando um potencial de ação. A redução de cargas, levando a um potencial na membrana menos negativo, é chamado de despolarização, e um aumento na separação de cargas, aumentando o potencial da membrana, é chamado de hiperpolarização. Esses sinais elétricos conseguem seguir por longas distâncias,

pois, o potencial de ação é continuamente regenerado e, portanto, não atenua à medida que avança (Kandel *et al.*, 2014).

O potencial de ação tem quatro propriedades importantes para a sinalização neural. A primeira é possuir um limiar para a iniciação. A medida que a corrente hiperpolarizante ou despolarizante aumenta, a voltagem da membrana varia gradualmente em função do tamanho da corrente de acordo com a Lei de Ohm, já que o neurônio funciona como um resistor. Quando a corrente aumenta suficiente mente para ultrapassar o limiar de tensão, o potencial de ação é gerado. A segunda é que o potencial de ação é um evento tudo-ou-nada. Isso significa que, o tamanho e a forma de um potencial de ação iniciado por uma grande corrente despolarizante são os mesmos gerados por uma pequena corrente que levemente ultrapasse o potencial hiperpolarizante. A terceira propriedade é que o potencial de ação é regenerativo ao longo do caminho, assim fazendo com que ele mantenha a amplitude constante, mesmo se propagado por longas distancias. A quarta propriedade é que após gerado um potencial de ação o neurônio passa por um breve período refratário, no qual ele é incapaz de disparar um segundo potencial de ação (Kandel *et al.*, 2014).

2.2 CAPTAÇÃO DO SINAL DE EEG

Com eletrodos dispostos no crânio de uma pessoa é possível captar as variações desses potenciais de ação. O procedimento que faz essa amostragem das variações dos potenciais no tempo é o EEG (Kandel *et al.*, 2014; Fields *et al.*, 2016).

2.2.1 Eletrodos de Superfície

O EEG de superfície mostra padrões de atividades, que são caracterizadas por frequência e amplitude elétrica. Essas relações ocorrem em áreas, ou seja, a visão dos sinais de EEG mostra análises de regiões do cérebro e o que está ocorrendo nessas regiões. Kandel, *et al.*, 2014, p. 973-975.

Eletrodos podem ser extra ou intracelulares. Os extracelulares (que são os comumente conhecidos no uso de eletroencefalograma) registram potenciais de neurônios próximos e podem detectar atividades sincronizadas de um conjunto de células, chamado de potencial de campo. Kandel *et al.*, 2014, p. 972.

A disposição dos eletrodos sobre o escalpo da paciente é dividida em dois planos. O primeiro é o plano Sagital, no qual a medição começa na depressão acima do nariz até o inion (a proeminência na linha média no início do pescoço). No plano sagital ficam os eletrodos com índice “z” (zero). O plano Coronal se estende a partir da protuberância cartilaginosa na frente

da orelha externa, fazendo com que cada metade do plano Coronal tenha metade do caminho da extremidade até o plano Sagital. A disposição dos eletrodos nos planos Sagital e Coronal é mostrada na Fig. 6 (Fields *et al.*, 2016).

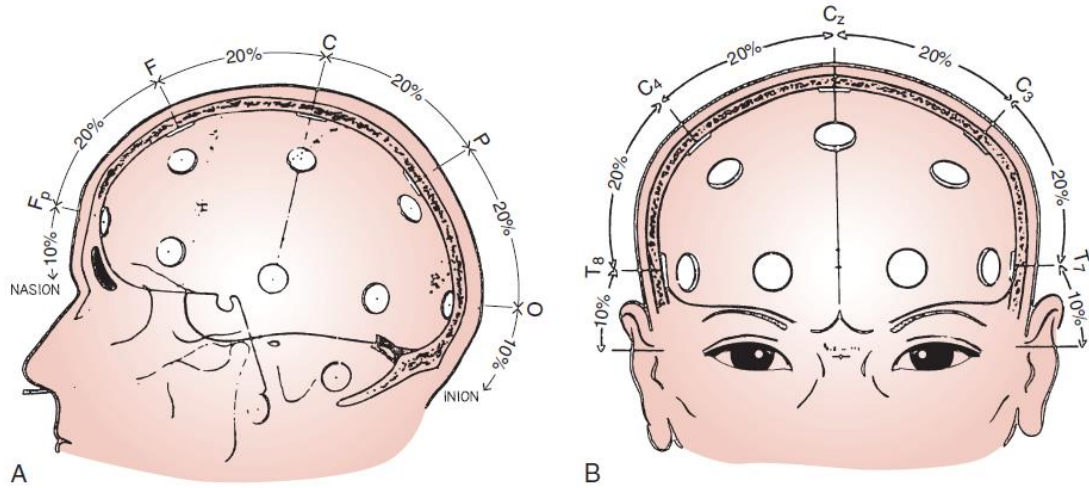


Figura 4: Planos Sagital e Coronal, (A) plano Sagital, (B) plano Coronal. (Fields *et al.*, 2016).

Existem padronizações para a disposição dos eletrodos baseadas nessa divisão de planos. Uma delas é o sistema 10-10 (Fig. 5), uma modificação do 10-20 que, adicionando mais eletrodos, pode ser utilizada como um mapa geral para a colocação de eletrodos (Fields *et al.*, 2016).

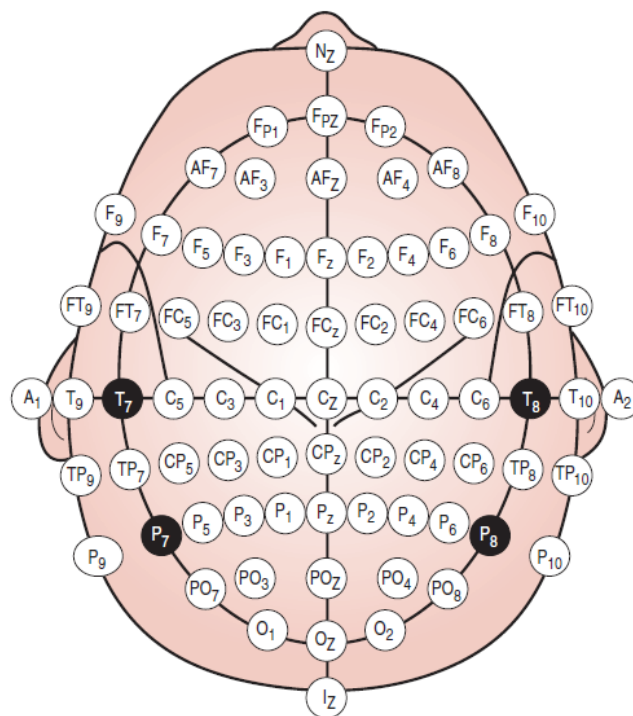


Figura 5: Sistema 10-10 (Fields *et al.*, 2016).

Analisando as possibilidades de disposição no sistema 10-10 é possível ver de forma gráfica como os potenciais de campo influenciam as medições de um EEG, como mostrado na Fig. 6 (Fields *et al.*, 2016).

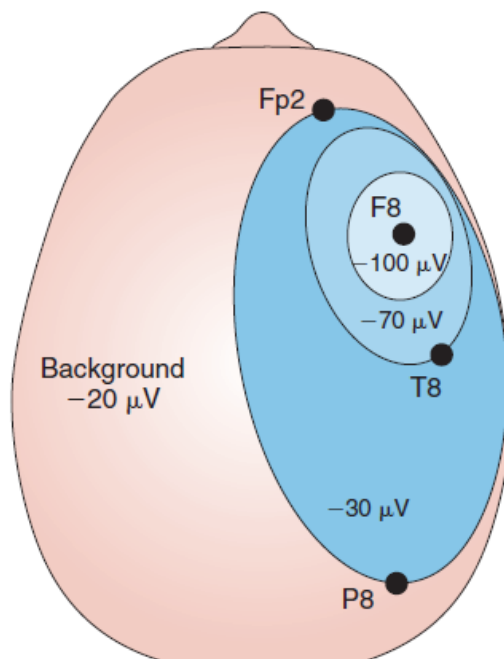


Figura 6: Demonstração de um potencial de ação centrado no eletrodo F8 com uma voltagem negativa no valor de $100\mu\text{V}$ e o espalhamento do campo sobre o escalpo do paciente. (Fields *et al.*, 2016).

2.2.2 Condicionamento e Aquisição dos Sinais

A aquisição dos sinais como impulsos elétricos de pequena amplitude (na faixa de microVolts) são de difícil interpretação, pois os sinais compreendem a ação de bilhões de neurônios (Thakor, 1999).

O processo mais simples de aquisição dos sinais é colocando eletrodos no paciente e amplificando o sinal captado por esses eletrodos. O processo de amplificação pode ser do sinal simplesmente amplificado ou da diferença entre dois sinais. Quando se é amplificada a diferença dos sinais, interferências externas que afligem os dois sinais podem se cancelar, assim resultando num sinal com o ruído reduzido. Os dois processos podem ser visualizados na Fig. 7 (Fields *et al.*, 2016).

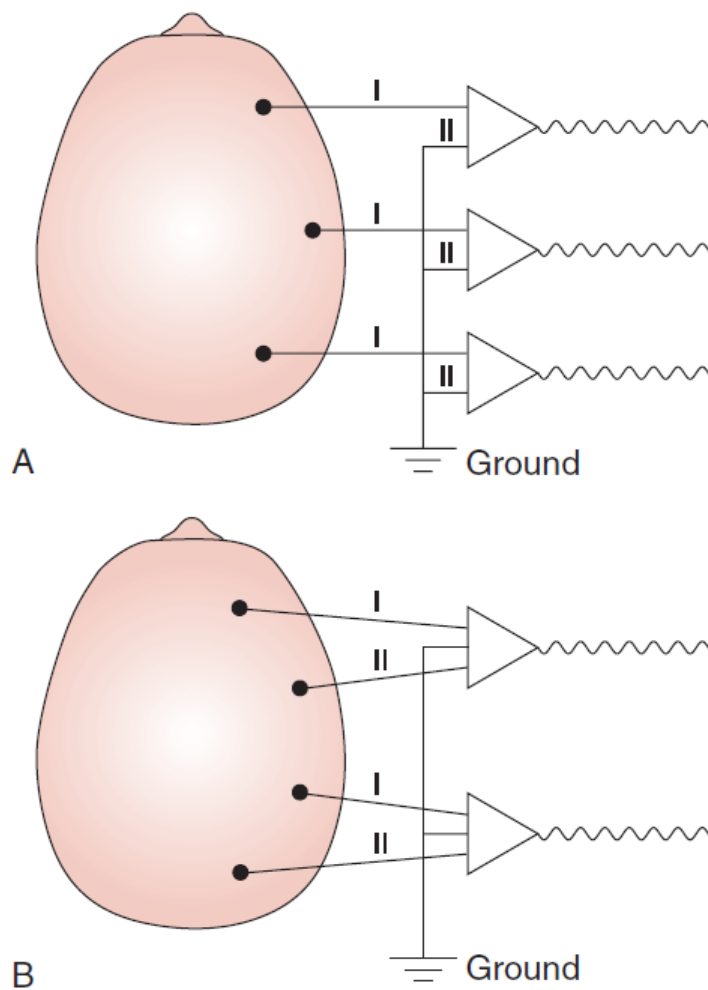


Figura 7: **(a)** processo de amplificação simples dos sinais do EEG; **(b)** processo de amplificação diferencial, em que o resultado do amplificador é a diferença de dois sinais (Fields *et al.*, 2016).

O processo de gravação bipolar eletronicamente conecta eletrodos de forma sucessiva. A tensão em um eletrodo é comparada com a tensão nos eletrodos adjacentes. Na Fig. 8(a) é possível ver esse processo. Quando ocorre um pico na região do eletrodo F8 ele é comparado com seus eletrodos antecessor e sucessor. Como o potencial de campo influencia pouco os eletrodos Fp2 e T8, é possível localizar o local em que ocorreu o pico e notar que o processo de amplificação é diferencial (Fields *et al.*, 2016).

O outro processo de aquisição dos sinais é a gravação referencial, em que a amplificação dos sinais não ocorre de forma diferencial, e sim comparado com um referencial comum a todos os eletrodos e então amplificado, chamada amplificação simples. É possível ver na Fig. 8(b) que tendo um referencial comum não ocorre a reversão de fase, como ocorre na aquisição bipolar (Fields *et al.*, 2016).

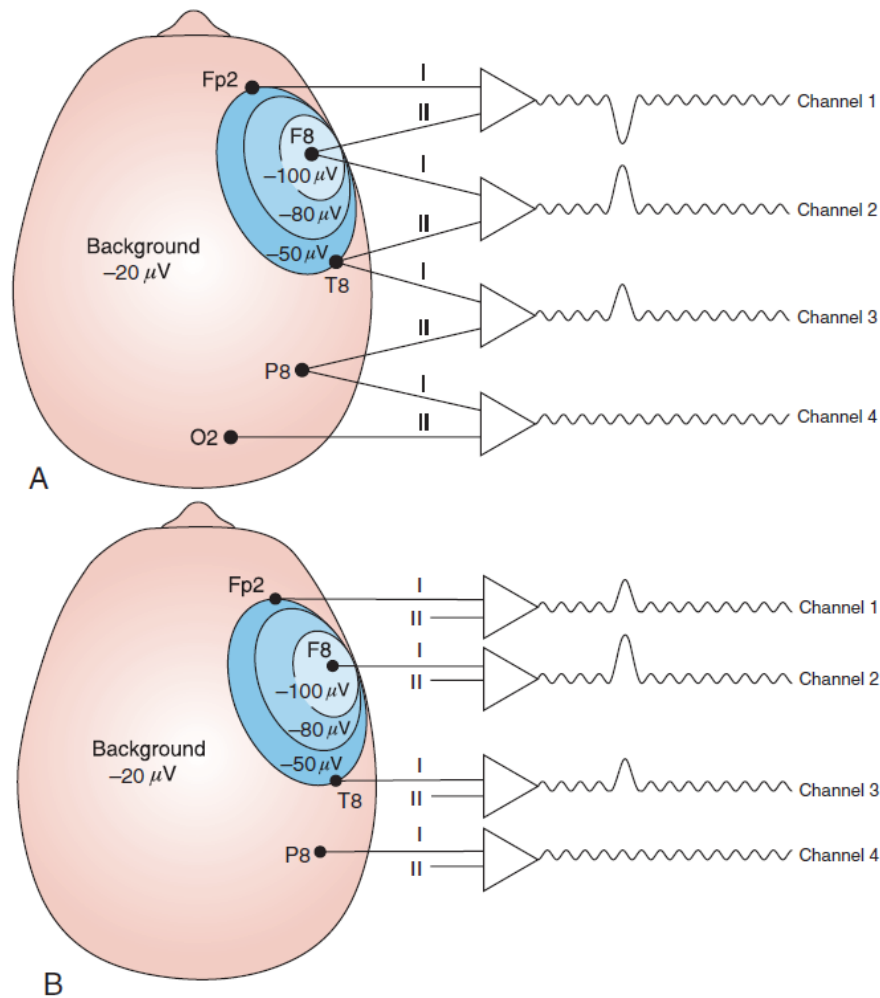


Figura 8: **(a)** Princípio da localização bipolar. A figura mostra um pico de $-100\mu V$ no eletrodo F8. A diferença dos eletrodos faz com que ocorram picos e vales nos canais sucessores e antecessores, respectivamente. Como as entradas dos amplificadores seguem de forma encadeada, ocorre na saída o que é chamado de reversão de fase. **(b)** Princípio da gravação referencial, em que todos os eletrodos estão conectados a um terra comum, fazendo com que não ocorra a reversão de fase (Fields *et al.*, 2016).

Os eletrodos colocados no escalpo do paciente são suscetíveis a ruídos. Para realizar a eliminação, são usados filtros de frequências. Um filtro passa-baixas remove as frequências altas, que podem ser causadas por, por exemplo, potenciais de ação muscular, e deixa passar as frequências baixas. O filtro passa-altas remove as baixas frequências, que podem ser causadas, por exemplo, por artefatos relacionados ao suor, à respiração ou aos movimentos da língua. Também é utilizado um filtro *notch*, que é projetado para reduzir a interferência do ambiente. Normalmente sua frequência de corte é a mesma da rede elétrica, 60Hz (para os EUA) ou 50Hz (na Europa) (Fields *et al.*, 2016).

3 COMPRESSÃO DE SINAIS

Com o crescimento de dados gerados pelos sistemas computacionais e arquivos digitais, foi necessário achar uma forma eficiente de armazenar essas informações, que passaram a usar uma representação que ocupasse menor espaço em disco. As duas abordagens para tanto são a compressão sem perdas e a compressão com perdas. Codificadores sem perdas, tem na saída do processo de descompressão dados idênticos aos dados de entrada do processo de compressão. Por outro lado, um processo de compressão com perdas apresenta na saída do processo de descompressão um resultado aproximado dos dados de entrada. A Fig. 9 mostra os dois processos.

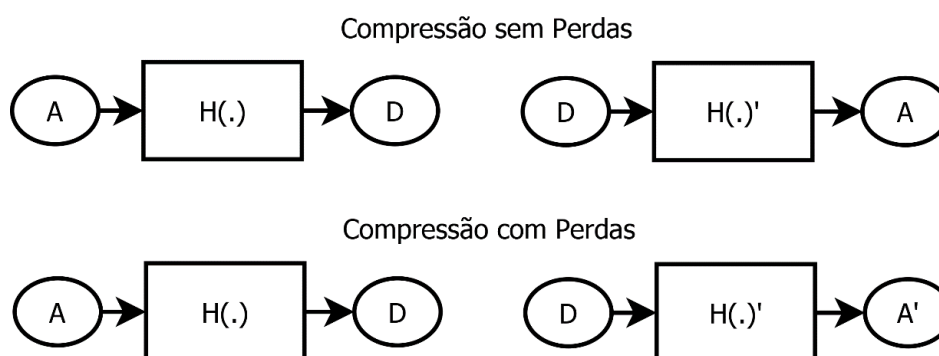


Figura 9: Processos de compressão sem perdas e com perdas. Assume-se que $H(.)$ é o processo de compressão e $H(.)^{-1}$ é o processo de descompressão, A são os dados originais, D são os dados comprimidos e A' é a reconstrução aproximada dos dados de entrada.

3.1 CODIFICADORES DE ENTROPIA

Entre os mais utilizados métodos de compressão sem perdas estão os codificadores de entropia. Considere uma fonte de dados quantizada, como uma imagem ou um sinal de um exame médico. Ao conjunto finito de valores que esses dados podem assumir denominamos *alfabeto da fonte*. Para um dado alfabeto da fonte, e as probabilidades de ocorrência de cada um de seus símbolos, pode-se definir a entropia. Do ponto de vista computacional, esses símbolos têm que ser representados em bits ou agrupamentos de bits. Considerando a representação binária destes símbolos, a entropia pode ser entendida como a quantidade mínima de bits por símbolo necessária para representar aquele alfabeto.

Como existe uma probabilidade finita de ocorrer cada um dos símbolos do alfabeto, é possível definir uma forma de calcular a entropia de uma fonte, que é dada por

$H = \sum_{i=1}^M P(S_i) \log_2[P(S_i)]$, em que H é a entropia da fonte, M é o número de símbolos no

alfabeto da fonte e $P(S_i)$ é a probabilidade de ocorrência do S_i -ésimo símbolo. O \log_2 da probabilidade é usado pois o alfabeto está sendo codificado no sistema binário. Codificadores de entropia tentam representar os dados comprimidos de modo a aproximar a taxa de codificação à entropia dos dados originais. (Sayood, 2012).

3.1.1 Codificador de Huffman

Um dos mais disseminados codificadores de entropia, o codificador de Huffman analisa as probabilidades de ocorrência dos símbolos e atribui àquele com maior probabilidade uma palavra codificada com menor quantidade de bits. Os símbolos devem ser escolhidos de tal forma que as palavras sejam unicamente decodificáveis, ou seja, que o decodificador não possa ler uma palavra codificada como a combinação de outras palavras codificadas. Esse processo para codificação em binário é feito primeiramente atribuindo aos dois símbolos com menor probabilidade de ocorrência os valores possíveis e então combinando as probabilidades de ocorrência desses símbolos em um novo meta-símbolo. Esse procedimento é repetido até que todos os símbolos sejam codificados, como exemplificado na Fig. 10 (Sayood, 2012).

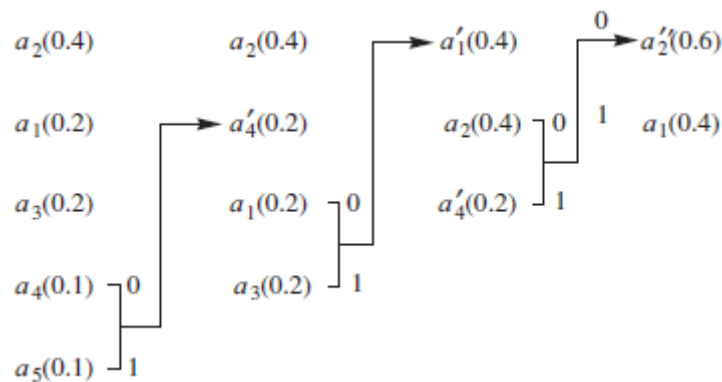


Figura 10: Procedimento de codificação da árvore binária de Huffman. No exemplo, a_2 tem 40% de chances de ocorrer, a_1 e a_3 tem 20% de chances de ocorrer, a_4 e a_5 tem 10% de chances de ocorrer (Sayood, 2012).

3.1.2 Codificação Aritmética

Outro método bastante disseminado, o codificador aritmético também usa a probabilidade de ocorrência dos símbolos para tentar se aproximar da entropia da fonte. Com a probabilidade acumulada de ocorrência dos símbolos é localizada a probabilidade da ocorrência do símbolo, que é codificado com essa probabilidade. Então, são recalculados os novos limites superiores e inferiores para a nova faixa de probabilidade acumulada. Feito esse procedimento

de forma iterativa para todos os símbolos que se deseja codificar é achado um valor a ser transmitido na forma de uma ‘etiqueta’ (do inglês, *tag*) que esteja contida no intervalo, geralmente o seu limite inferior. A Fig. 11 mostra como é esse procedimento.

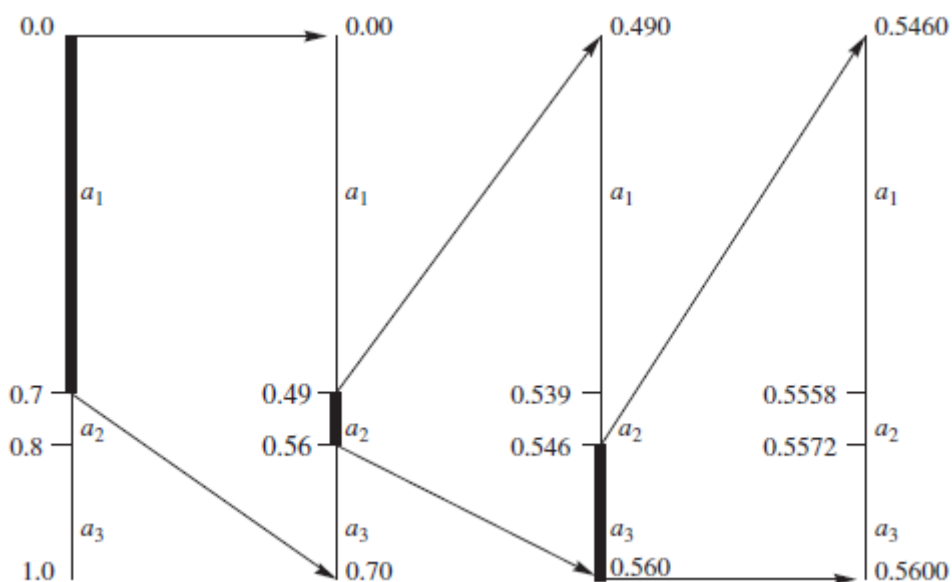


Figura 11: Processo de codificação aritmética para os símbolos a_1 com probabilidade de 70%, a_2 com probabilidade de 10% e a_3 com probabilidade de 20%. A sequência codificada é $[a_1 a_2 a_3]$ e uma possível *tag* seria 0.54560 (Sayood, 2012).

É possível ver no exemplo que, dependendo de quantos símbolos sejam codificados, o intervalo em que a *tag* é selecionada começa a se tornar pequeno ou com muitas casas decimais. Como computadores tem uma precisão finita, existem formas diferentes de gerar e de ler essa *tag*, como por meio da codificação aritmética para subintervalos da sequência de símbolos (Sayood, 2012).

3.2 COMPRESSÃO POR TRANSFORMADAS ORTOGONAIS

No âmbito da compressão com perdas, uma abordagem bastante recorrente é a de comprimir dados utilizando transformadas ortogonais. Caso não seja necessária a reconstrução perfeita do sinal, optar pela compressão com perdas consegue obter taxas abaixo da entropia da fonte (Sayood, 2012).

Dois vetores são ditos ortogonais se o produto interno deles resulta em zero. Se a base escolhida for uma matriz de vetores ortogonais e a norma de cada vetor for construída de forma que resulte no valor de uma unidade, essa base é chamada de base ortonormal. Com bases ortonormais é possível achar a representação de qualquer vetor no espaço em termos do produto interno de uma base ortonormal e uma matriz a ser determinada. Por exemplo, dado um vetor

\mathbf{y} no espaço de S_N , por definição, \mathbf{y} pode ser escrito como uma combinação linear de uma base ortonormal α_i com os vetores x_i , como é descrito pela equação (3.1):

$$\mathbf{y} = \sum_{i=1}^N \alpha_i x_i \quad (3.1)$$

Transformadas ortogonais levam uma matriz \mathbf{Y} contida no espaço S para, normalmente, uma base ortogonal ou ortonormal \mathbf{A} , multiplicada por matriz \mathbf{X} a ser encontrada. Sayood, 2012.

Nos codificadores e decodificadores por transformadas, a base ortogonal já é conhecida nos dois lados, então, só é necessário enviar os vetores que, multiplicados pela base, formam a matriz original. Porém, como muitas vezes os resultados de uma transformada dão valores com parte fracionária, esses números são quantizados, o que faz com que se perca informação na reconstrução e diminua a informação enviada para o decodificador. Além de eliminar a parte decimal, a quantização pode ter passos diferentes de um, o que faz com que sejam remapeados os valores resultantes da transformada. O diagrama genérico de um codificador por transformadas por ser visto na Fig. 12.

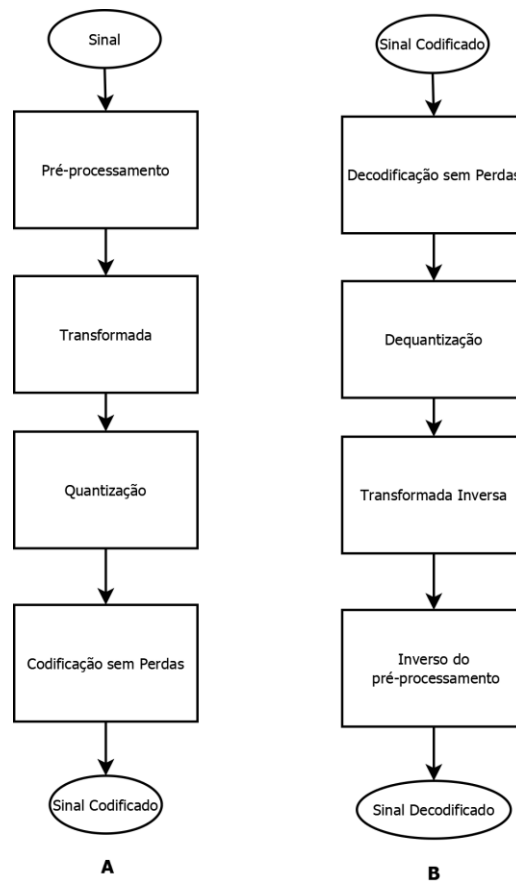


Figura 12: Diagrama de blocos simplificado de: **(A)** Codificador por transformadas. **(B)** Decodificador por transformadas.

3.3 DECOMPOSIÇÃO EM VALORES SINGULARES (SVD)

A decomposição em valores (SVD – do inglês, *Singular Value Decomposition*) é uma forma de decompor matrizes bidimensionais. Outra técnica que realiza isso é, por exemplo, a decomposição em autovalores. A diferença do SVD é que ele não requer que a matriz seja quadrada. Ele usa duas bases diferentes e ortonormais, que são os vetores singulares da direita e da esquerda, enquanto a decomposição em autovalores gera apenas uma base, a matriz com os autovetores, que geralmente não é ortogonal. Nem todas as matrizes são possíveis de se decompor usando autovalores, porém, todas as matrizes têm uma decomposição em valores singulares (Trefethen *et al.*, 1997).

Para entender como é realizado a divisão de uma matriz nas três matrizes que resultam do SVD, é necessário entender o conceito da norma de dois, também conhecido como norma euclidiana. Dada uma matriz A, é possível tirar a soma das componentes ao quadrado (Eq. 3.2). O operador para a norma de dois é $\|\cdot\|_2$ (Trefethen *et al.*, 1997; Golub *et al.*, 2013).

$$\|x\|_2 = \left(\sum_{i=1}^m |x_i|^2 \right)^{1/2} = \sqrt{x^* x} \quad (3.2)$$

É possível também visualizar essas normas de forma gráfica. Exemplificando: dado uma matriz A (Eq. 3.3), é possível ver na Fig. 12 a representação geométrica da matriz a direita, o ponto vazio no eixo das abscissas representa a primeira coluna da matriz, a coordenada [1,0]; o ponto fechado na figura representa a segunda coluna da matriz, ou seja, o ponto [2,2], e a representação da norma ao lado esquerdo.

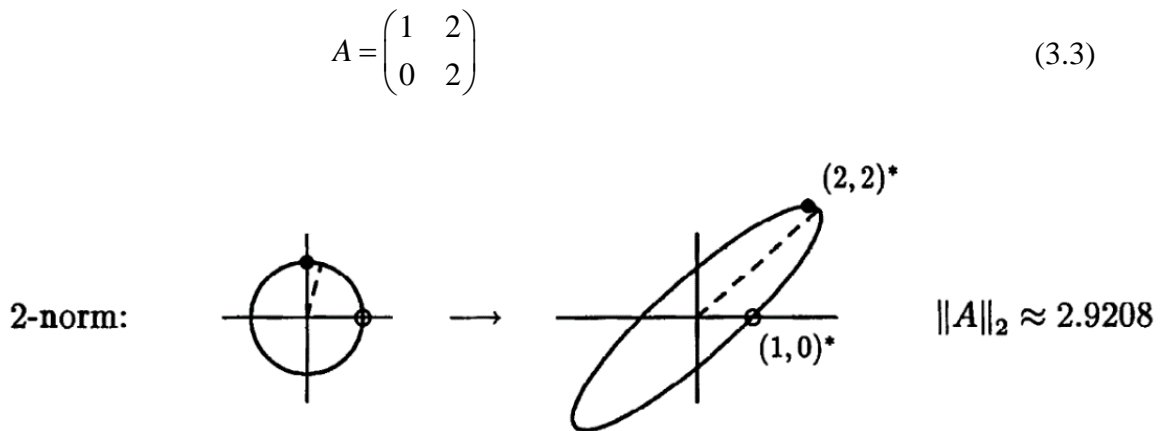


Figura 13 Representação gráfica da norma de 2 (Trefethen *et al.*, 1997 – modificado)

A partir da observação visual da representação de uma matriz e de sua norma, é possível concluir que uma matriz $m \times n$ representa uma figura geométrica. Essa figura é chamada de hiperelipse, termo representa uma generalização de uma elipse m-dimensional. Uma hiperelipse contida no \mathbb{R}^m pode ser definida como um alongamento de uma esfera contida no \mathbb{R}^m por fatores $\sigma_1, \dots, \sigma_m$ e por direções ortogonais $u_1, \dots, u_m \in \mathbb{R}^m$ (Trefethen *et al.*, 1997).

A equação (3.4) mostra como é formado o vetor diagonal de Σ , na qual as componentes σ_i representam os valores da diagonal, sendo os componentes fora da diagonal nulos, e ‘p’ sendo a menor dimensão (m ou n) de uma matriz qualquer bidimensional.

$$\Sigma_{i,i} = \{\sigma_1, \dots, \sigma_p\}; \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_p \geq 0 \quad (3.4)$$

Como é possível gerar uma hiperelipse no \mathbb{R}^m com as determinadas direções ortogonais U e por fatores de alongamento S , para que essa hiperelipse seja a representação de qualquer hiperelipse m-dimensional, é necessário rotacionar a figura gerada para os semieixos da figura esperada. Exemplificando isso no \mathbb{R}^2 , dado uma matriz A multiplicada por uma matriz de rotação V é possível encontrar uma elipse descrita pelas direções de U e alongadas pelos fatores de Σ , demonstrado nas Figs. 14 e 15.

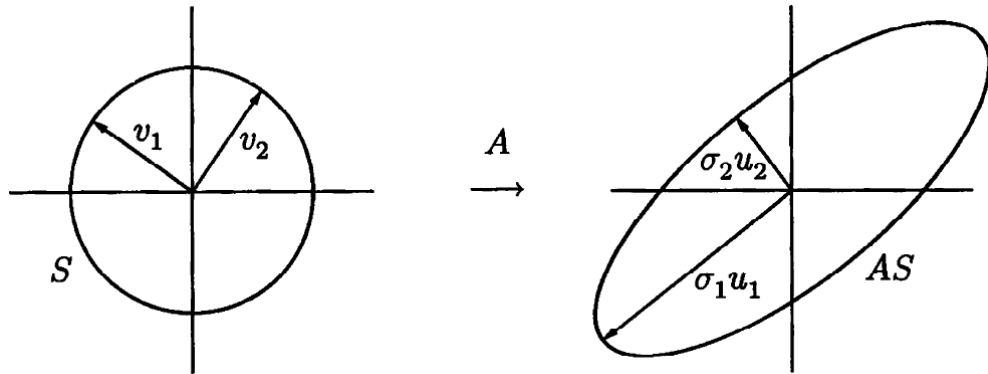


Figura 14: Demonstração gráfica das matrizes A , V , U e Σ (Trefethen *et al.*, 1997 – modificado)

$$\begin{bmatrix} & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} | & | & | & | & | \\ v_1 & v_2 & \cdots & v_n \\ | & | & | & | & | \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} | & | & | & | & | \\ u_1 & u_2 & \cdots & u_n \\ | & | & | & | & | \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & & & & \\ & \sigma_2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \sigma_n \end{bmatrix},$$

Figura 15: Representação matricial de A , V , U e Σ (Trefethen *et al.*, 1997–modificado).

A natureza das matrizes U e V é de que ambas são ortonormais, pois uma é a matriz de rotação e a outra descreve a base no espaço. Multiplicando os dois lados da equação descrita pela Fig. 15 pela matriz transposta de V é possível achar a decomposição da matriz A . Isso é chamado de decomposição em valores singulares.

Com todos esses conceitos é possível definir formalmente o SVD como: dado uma matriz $A \in \mathbb{C}^{m \times n}$ sendo m e n arbitrários, é possível fatorar A da seguinte forma:

$$A = U \Sigma V^* \quad (3.5)$$

Sendo que

$U \in \mathbb{C}^{m \times m}$ é unitária;

$V \in \mathbb{C}^{n \times n}$ é unitária,

$\Sigma \in \mathbb{R}^{m \times n}$ é diagonal.

V^* preserva o formato da esfera, Σ alonga essa esfera formando uma hiperelipse alinhada às bases canônicas e U rotaciona ou reflete a hiperelipse sem mudar o seu formato (Trefethen *et al.*, 1997).

3.3.1 SVD de Ordem Reduzida

Com o SVD é possível decompor uma imagem em suas três matrizes citadas na seção 3.3 e, reduzindo a ordem da matriz de valores singulares, ter uma recriação aproximada da matriz original. Com essa redução da matriz de diagonal principal é possível reduzir também as matrizes U e V

Caso a matriz Σ seja reduzida até ser quadrada, sem eliminar nenhum termo da diagonal principal, é chamado de SVD reduzido. Também deve ser aplicada a redução de ordem à matriz de rotação U e à matriz da base V^* , só é necessário que Σ não seja quadrada. As formas reduzidas são chamadas de $\hat{\Sigma}$, \hat{U} e \hat{V} .

Esse pensamento pode ser ampliado removendo termos da diagonal principal de $\hat{\Sigma}$, reduzindo ainda mais a ordem da matriz. Isso é chamado de SVD truncado. Quando ocorre essa remoção de valores, a reconstrução da decomposição começa a retornar uma matriz aproximada e não mais a matriz original, como ocorria até o SVD reduzido.

3.4 CRITÉRIOS PARA ESCOLHA DO POSTO DO SVD

Shannon (1948) no seu artigo sobre teoria da informação propõe o que é entropia, como mostrado na seção 3.1, e define muitos aspectos importantes para o entendimento da teoria da informação, como redundância de uma fonte codificada (Ash, 1990).

Como valores de uma matriz que se quer transmitir são informações é possível aplicar paradigmas de teoria de informação e limitar o erro na transmissão do mesmo. Para isso é necessário modelar o processo de transmissão para tomar a melhor decisão para as necessidades do mesmo.

Dentre os vários paradigmas que podem ser aplicados dentro da teoria da informação, o mais comumente utilizado é o Critério da Informação de Akaike (AIC), que é descrito por Burnham & Anderson (2002) como uma aproximação simples, efetiva e com formas objetivas para a seleção da estimativa do “melhor modelo aproximado”.

3.4.1 Critério da Informação de Akaike (AIC)

Nos artigos de Akaike (1998, p. 199-212) é possível ver a definição do seu critério partindo do pressuposto que ele quer achar o melhor modelo considerando todas as variáveis aleatórias dentro do modelo ser analisado e dos parâmetros. Ele então define o critério da informação de Akaike como:

$$AIC = -2\log\left(f(\hat{\theta}|y)\right) + 2K, \quad (3.6)$$

em que $\log(f(\hat{\theta}|y))$ é o valor do log-da-verossimilhança no seu ponto máximo, sendo que $f(\hat{\theta}|y)$ é a função de verossimilhança que deve ser proposta para cada uma das análises a serem feitas utilizando esse critério.

O número de parâmetros estimados do modelo é a variável K .

Wax & Kailath (1985) definem o log-da-verossimilhança para uma função de autovalores de acordo com a equação (3.7):

$$L(\theta) = \log \left(\frac{\prod_{i=k+1}^p l_i^{1/(p-k)}}{\frac{1}{p-k} \sum_{i=k+1}^p l_i} \right)^{(p-k)N} \quad (3.7)$$

O ponto máximo desse vetor é aquele que descreve a melhor recriação do sinal com uma quantidade de distorção aceitável.

Wax & Kailath (1985), para o log-da-verossimilhança calculado determinado acima, normalizam o número de parâmetros de liberdade do critério de Akaike, equação (3.6), expresso pela variável K , o que leva à seguinte equação (3.8) para o critério de Akaike:

$$AIC = -2 \left(\log \left(\frac{\prod_{i=k+1}^p l_i^{1/(p-k)}}{\frac{1}{p-k} \sum_{i=k+1}^p l_i} \right)^{(p-k)N} \right) + 2k(2p-k), \quad (3.8)$$

em que a variável l são os autovalores, k é o posto da matriz, p é posição do vetor que está sendo utilizada para calcular o AIC e N é o número de variáveis a serem observadas.

3.4.2 MDL

Schwarz e Rissanen propuseram uma nova forma de abordar o critério de Akaike, que pode ser visto na equação (3.7). Rissanen (1978) olhando pelo ponto de vista da teoria da informação chegou a equação (3.9), o mesmo obtido por Schwarz (1978):

$$MDL = -\log(f(X | \theta)) + \frac{1}{2} k \log(N) \quad (3.9)$$

Wax & Kailath (1985) fizeram a mesma normalização do parâmetro de liberdade feita no AIC no MDL, chegando a equação (3.10) do MDL normalizado:

$$MDL = -\log \left(\frac{\prod_{i=k+1}^p l_i^{1/(p-k)}}{\frac{1}{p-k} \sum_{i=k+1}^p l_i} \right)^{(p-k)N} + \frac{1}{2} k(2p-k) \log(N) \quad (3.10)$$

3.5 TRANSFORMADA DE COSSENOS DISCRETA (DCT)

A transformada de cossenos discreta (DCT) recebe esse nome pois as linhas de uma matriz $N \times N$ da transformada de cossenos C é obtida por funções de cossenos, como mostrado na equação (3.11) (Sayood, 2012).

$$[C]_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 0, j = 0, 1, \dots, N-1 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} & i = 1, 2, \dots, N-1, j = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (3.11)$$

A representação gráfica da transformada de cossenos para uma matriz 8×8 é apresentada, na Fig. 16.

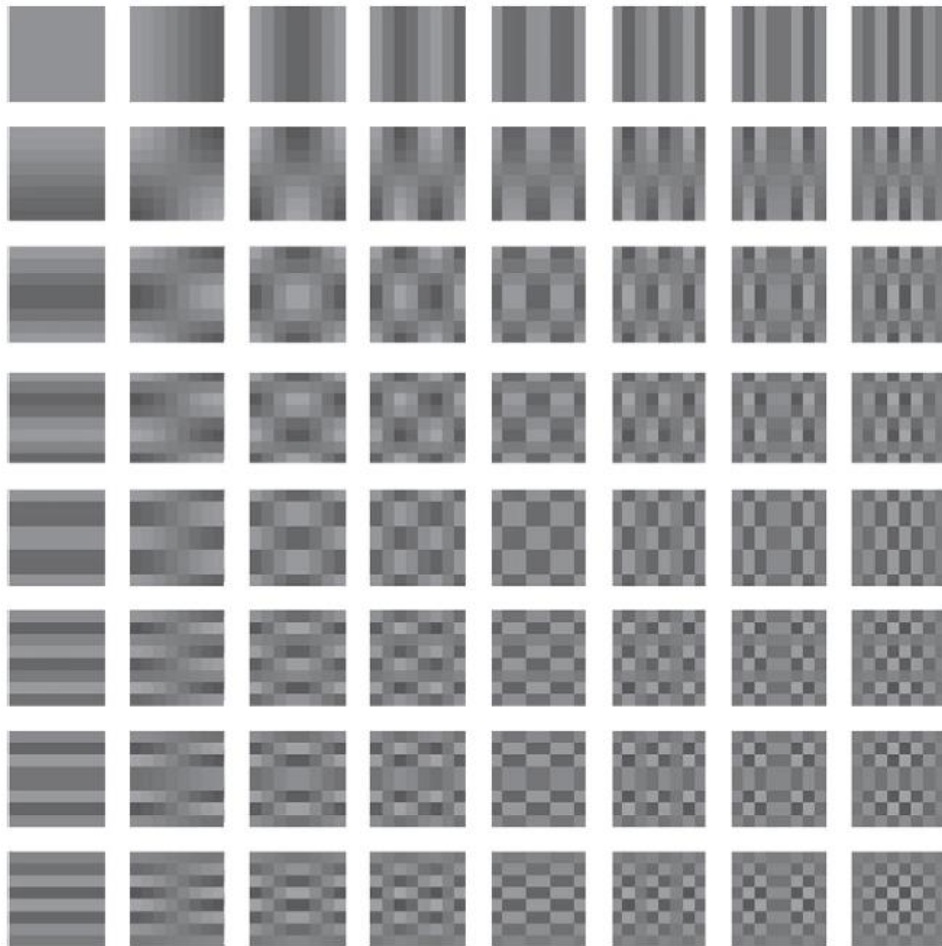


Figura 16: Bases da DCT (Sayood, 2012).

Como é possível ver na base da DCT no índice $[0,0]$, a DCT tem a frequência zero da matriz. Na primeira coluna ela varia a frequência no sentido horizontal e na primeira linha ela

varia a frequência no sentido vertical, enquanto nos outros valores da matriz, ela varia a frequência em ambos os sentidos (Sayood, 2012).

3.5.1 Quantização da DCT

Cada um dos índices da base da DCT armazena uma quantidade de energia e informação diferente. Algumas altas frequências podem ser detalhes muito sutis para a reconstrução da imagem ou ruídos, não precisando ser codificadas no processo de compressão. Por causa da distribuição não uniforme de informação na base da DCT, ela pode ser quantizada de uma forma heterogênea para cada índice da base (Sayood, 2012).

Como as informações no sentido e na frequência variam para cada matriz codificada usando um DCT, existem diferentes matrizes de quantização dependendo para o que a DCT está sendo utilizada. Alguns pares de codificadores e decodificadores tem tabelas de matrizes de quantização salvas nos dois. Para otimizar o processo de quantização eles enviam somente o índice da matriz em vez de toda a matriz (Sayood, 2012).

3.6 CODIFICADOR HEVC

Juntando técnicas de compressão e pré-processamento de sinal foram propostos codificadores. Um deles é o H.265, também conhecido como *High Efficiency Video Coding* (HEVC) ou, em português, Codificador de Vídeo de Alta Eficiência. Ele foi desenvolvido em conjunto pela *International Telecommunication Union* (ITU) e pelo *Moving Picture Experts Group* (MPEG), dentre os objetivos buscados no desenvolvimento desse novo codificador de vídeo estão: diminuir o espaço usado para armazenamento de vídeo; proporcionar a entrega de novos serviços, como televisão de ultra alta definição (UHDTV); maior profundidade de cores dentre outros. A primeira versão do HEVC foi lançada em janeiro de 2013. Além da capacidade de comprimir vídeo ele tem dentro dele vários módulos, para transmissão de vídeo, videoconferência, dentre outros (Sze *et al.*, 2014).

O HEVC divide a imagem ou vídeo que ele está codificando em blocos. O maior bloco é chamado de macro bloco e o maior valor possível é de 64 x 64. O menor bloco é de 4 x 4 e o valor de maior bloco e quantos níveis o HEVC pode descer a partir do macro bloco é configurado no codificador.

3.6.1 Modo intra do HEVC

Como já colocado, o HEVC tem vários módulos para funções diferentes. O modo intra é quando ele codifica apenas uma imagem, ou um frame de um vídeo como se fosse uma imagem.

O modo intra divide a imagem em blocos de 4 x 4 até 64 x 64. Dependendo do tamanho do bloco o algoritmo do HEVC pode usar mais direções de predições, indo a até 35 direções de predições. Essas direções de predições, demonstradas nas Figs. 17 e 18, servem para estimar a variação da luminosidade em um quadro em determinados sentidos. Com esses sentidos, o HEVC é capaz de estimar como o quadro se comporta (Sze *et al.*, 2014).

Com a estimativa do modo de predição do HEVC, é feita a diferença entre ele e o bloco a ser codificado. Essa nova matriz é chamada de ‘U’. Então é aplicado a DCT na matriz contendo as diferenças, resultando no que é chamado de ‘coeff’. O *coeff* é então quantizado tanto pela matriz de quantização usada pelo HEVC quanto pelo parâmetro de quantização (QP), que varia de 0 a 51 para sequências de vídeo em 8 bits. O valor do passo de quantização dobra a cada aumento em 6 do QP. Após esses passos o resultado é codificado por um codificador de entropia, o procedimento é mostrado na Fig. 19.

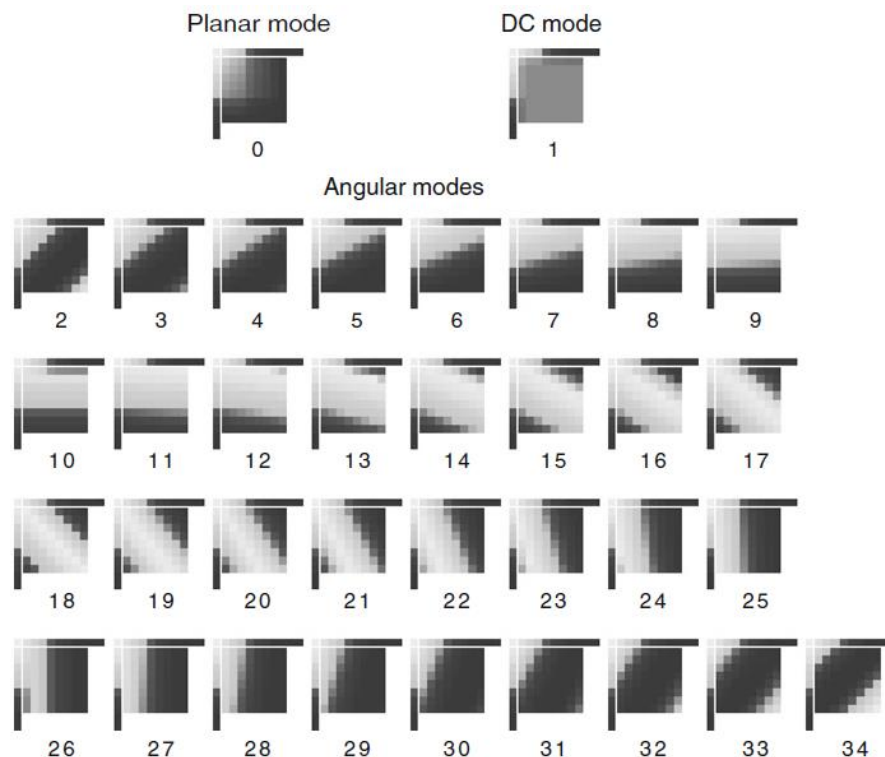


Figura 17: Exemplos de blocos 8x8 de predição da luminância no modo intra do HEVC. Os efeitos da predição e pós-processamentos podem ser vistos nas bordas superiores e inferiores (Sze *et al.*, 2014).

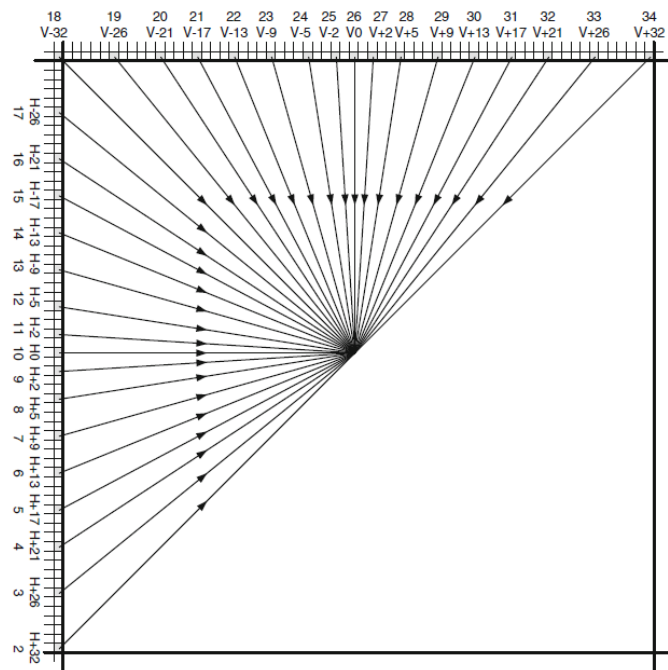


Figura 18: Direções angulares no modo de predição intra do HEVC (Sze *et al.*, 2014).

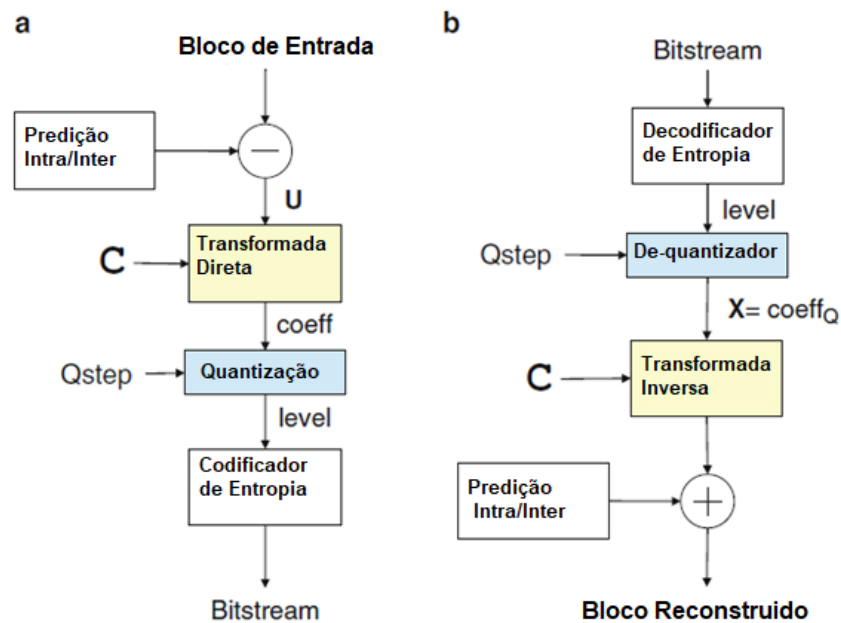


Figura 19: Diagrama de blocos simplificado do HEVC. (a) Codificador, (b) Decodificador. C é a matriz de transformação da DCT e o $Qstep$ é o passo de quantização (Modificado de Sze *et al.*, 2014).

3.6.2 Codificador Aritmético Binário Adaptativo Baseado em Contexto (CABAC)

O HEVC usa um Codificador Aritmético Binário Adaptativo Baseado em Contexto, (CABAC, do inglês *Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding*). O diagrama de blocos

pode ser visto na Fig. 20. A binarização mapeia os elementos de sintaxe para símbolos binários (*bins*). O modelo de contexto estima a probabilidade de cada *bins* codificado de forma regular, baseado em alguma forma de contexto específico. Finalmente o codificador aritmético comprime os *bins* para bits de acordo com probabilidade estimada.

O HEVC usa diferentes processos de binarização exemplificados na Tabela 1, dentre eles estão o modo Codificador de Rice de k -ésima Ordem (TRk, do inglês *k-th order truncated Rice*), o modo Codificador Exp-Golomb de k -ésima Ordem (Egk, do inglês *k-th order Exp-Golomb*), o modo Unário Truncado (TrU) e a binarização de comprimento fixo (FL, do inglês *Fixed-Length binarization*).

Tabela 1: Exemplos de diferentes tipos de binarização (Sze *et al.*, 2014)

	Unário	Rice	Truncado	Exp-Golomb	Comprimento Fixo
	Truncado (TrU)	(TRk)		(EGk)	(FL)
N	Unário (U)	cMax=7	K=1; cMax=7	k=0	cMax=7
0	0	0	00	1	000
1	10	10	01	010	001
2	110	110	100	011	010
3	1110	1110	101	00100	011
4	11110	11110	1100	00101	100
5	111110	111110	1101	00110	101
6	1111110	1111110	1110	00111	110
7	11111110	1111111	1111	0001000	111

A codificação unária é um vetor de bits de comprimento $N+1$, em que os primeiros N bits são 1, e o ultimo bit é 0. O decodificador procura pelo zero, para determinar quando o elemento de sintaxe está completo. Para o TrU, o truncamento acontece no maior valor possível de tamanho do vetor, que é o valor de cMax.

O TRk é um código parametrizado de Rice que é composto por um prefixo e um sufixo. O prefixo é um unário truncado com o valor $N \gg k$, em que o maior valor possível é cMax. O sufixo tem representação em binário de comprimento fixo dos últimos N bits; k indica o número bits menos significativos.

O EGk é quase ideal para fontes geometricamente distribuídas com parâmetro de distribuição desconhecido ou variável. Cada palavra de código consiste em um prefixo unário de comprimento l_{N+1} e um sufixo de comprimento l_{N+k} , em que $l_N = \lfloor \log_2((N \gg k) + 1) \rfloor$.

Os parâmetros de modelo de probabilidade são adaptativos, o que significa que uma adaptação das probabilidades de modelo para as variações estatísticas da fonte de recipientes é realizada numa base bin-por-bin de forma retro-adaptativo e sincronizada tanto no codificador e decodificador; esse processo é chamado de estimação de probabilidade. Os dois parâmetros de cada modelo de probabilidade são armazenados em dois grupos de bits: o primeiro com 6 bits para cada um dos 63 estados de probabilidade, representados no modelo de probabilidades ρ_{LPS} do símbolo menos provável (LPS, do inglês *Least Probable Symbol*); o segundo com 1 bit para o v_{MPS} , que é o valor do símbolo mais provável (MPS, do inglês *Most Probable Symbol*). O estimador de probabilidade do CABAC é baseado no modelo de “*envelhecimento exponencial*” com atualização da probabilidade de forma recursiva após codificar o bit b , num instante de tempo t , como mostrado pela Equação (3.12)

$$\rho_{LPS}^{(t+1)} = \begin{cases} \alpha * \rho_{LPS}^{(t)}, & \text{se } b = v_{MPS}, \text{ quando ocorre MPS} \\ 1 - \alpha * (1 - \rho_{LPS}^{(t)}), & \text{de outra forma.} \end{cases}, \quad (3.12)$$

, em que a escolha do fator de escala α determina a velocidade de adaptação. O fator de adaptação escolhido pelo CABAC é descrito na Equação (3.13).

$$\alpha = \left(\frac{0.01875}{0.5} \right)^{\frac{1}{63}} \text{ com } \min_t \rho_{LPS}^{(t)} = 0.01875 \quad (3.13)$$

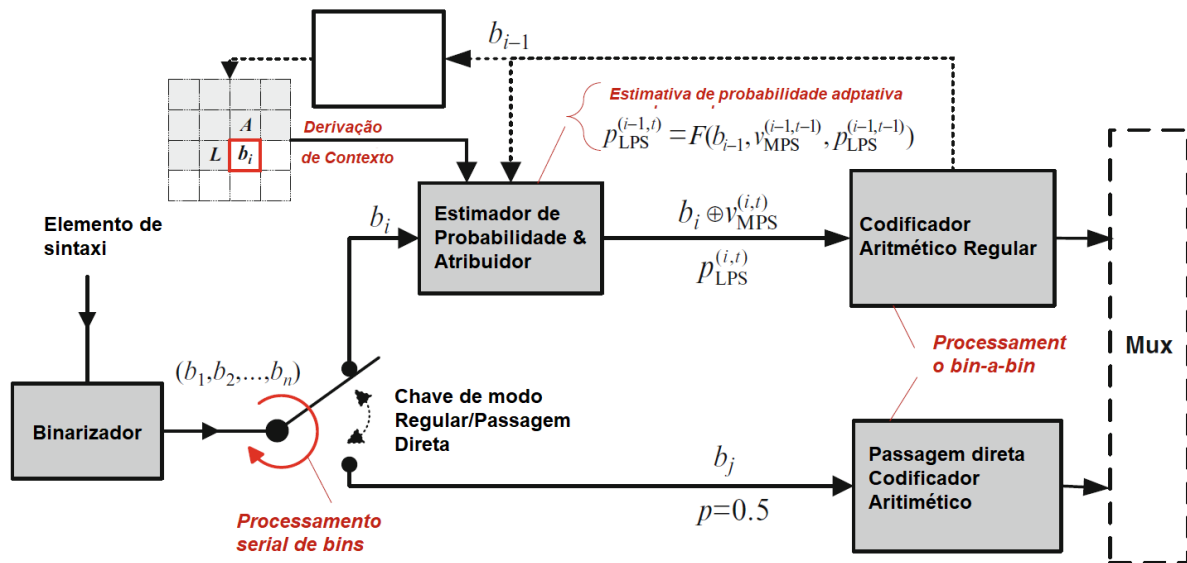


Figura 20: Diagrama de blocos do CABAC (da perspectiva do codificador): Binarização, modelamento em contexto (incluindo estimadores de probabilidade e atribuição) e codificação aritmética. Em vermelho: gargalos potenciais de rendimento. (Modificado de Sze *et al.*, 2014).

3.6.3 Aprimoramentos RExt do HEVC

Diversos aprimoramentos foram propostos para o HEVC ao longo do tempo. Alguns deles, conhecidos como “extensões de alcance” (RExt, do inglês *Range Extensions*), podem ser divididos em três categorias: extensão dos formatos de amostragem do croma, extensão da profundidade de bits e novas ferramentas de aprimoramento de eficiência de codificação.

A extensão de profundidade de bits permite que seja codificado pelo HEVC sinais com mais de um byte para representar cada sinal de um vetor ou de uma matriz. A primeira versão do HEVC suportava apenas 10 bits de profundidade, mas algumas aplicações do âmbito médico e militar precisam de uma maior fidelidade. Quando se aumenta a profundidade de bits no HEVC, ele ajusta outros parâmetros para a nova profundidade. Como o alcance dinâmico dos coeficientes é aumentado e o processo de desquantização é ajustado de acordo, o peso de precisão das predições também aumenta, entre outras coisas (Li *et al.*, 2016).

4 METODOLOGIA

O objetivo desse capítulo é descrever o procedimento de desenvolvimento do código para a realização de cada etapa abaixo até a solução final proposta.

4.1 LEITURA DOS DADOS

Os arquivos dos dados vêm em formato EDF, então foi realizada uma conversão dos dados em formato de texto. Criou-se então um arquivo *script* para a leitura dos dados. Depois criou-se uma função para o mesmo programa, que chamava os *scripts* e recebia como parâmetro o canal de EEG que deveria ser carregado. Tal função retorna o eixo do tempo da aquisição e o sinal do canal selecionado.

4.2 RECORTE TEMPORAL DO SINAL E FORMAÇÃO DO SINAL 2D

O sinal adquirido no passo anterior teve que ser reorganizado em uma matriz bidimensional para poder ser aplicado às técnicas de compressão por transformadas ortogonais bidimensionais.

4.2.1 Estudo sobre o comprimento de janela retangular para o recorte temporal

Para realizar remontagem do sinal, é necessário definir o tamanho da janela (recorte temporal), o número de elementos do vetor que serão tomados para formar 1 (uma) coluna da imagem e então definir esse valor como múltiplo de 32. O multiplicando é um argumento passado para função.

O outro uso dessa função é caso somente os dados sejam passados como parâmetro. O código então reorganiza a imagem de forma que ela fique o mais quadrada possível (aproximadamente o mesmo número de linhas e colunas). O menor bloco que o HEVC suporta é de tamanho 8 x 8, por isso foi necessário garantir que o número de linhas fosse múltiplo de 8.

Na Fig. 21 há um exemplo de como é feito esse recorte temporal no caso de sinais de EMG.

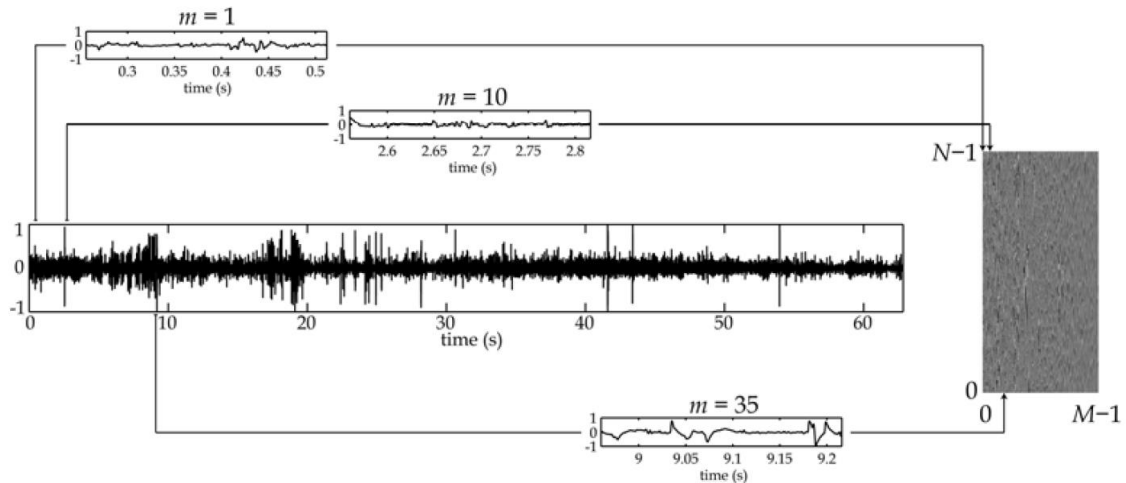


Figura 21: Conversão de sinal original em uma matriz bidimensional (Costa *et al.*, 2009a, p. 28).

4.2.2 Métodos de reordenamento das janelas de sinal

Para explorar melhor as capacidades de predição do HEVC, são aplicadas algumas formas de pré-processamento na matriz. Além disso, cada matriz reorganizada tem outro vetor que é gerado com a reorganização, que serve para desembaralhar a matriz reorganizada retornando para a matriz original, esse vetor é considerado *overhead*. do processo de compressão é enviado sem codificação. Este processo foi implementado em Costa *et al.* (2009a,b).

Esse reordenamento não influencia o SVD, pois ele apenas altera a ordem de colunas no espaço das colunas ou matriz da base 'V'. Então o melhor pré-processamento para o SVD é a não reorganização da matriz.

Em Savino *et al.* (2012) são descritos três métodos para reorganizar uma matriz como processo de prévia à compressão 2D, para compiladores como JPEG2000 e H.264. As formas de pré-processamento foram implementadas no presente trabalho e são descritas a seguir.

4.2.2.1. Sem reorganização

Primeiro foi testado sem reorganizar as colunas da matriz, somente passando o sinal do unidimensional para o bidimensional (Fig. 22 e 23).

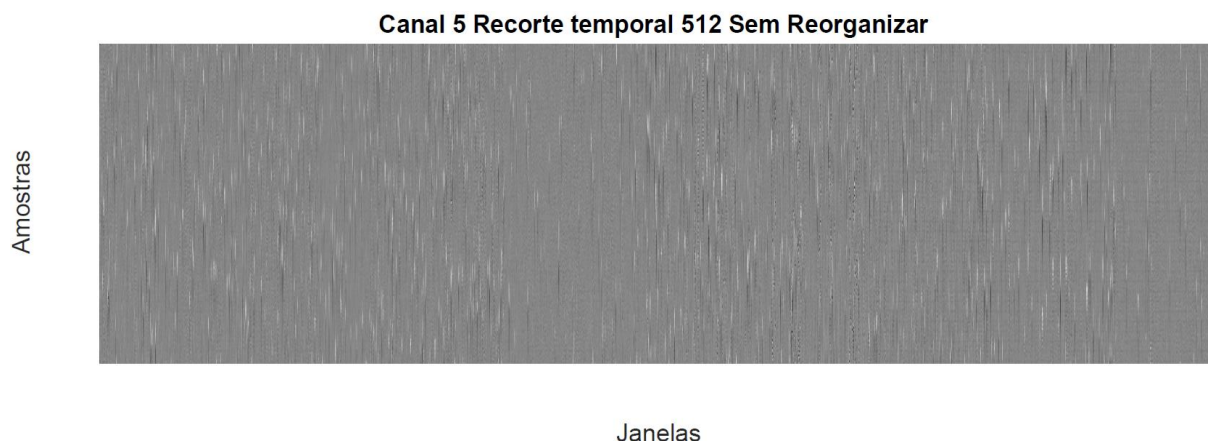


Figura 22: Matriz sem reorganizar, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512 x 1800.

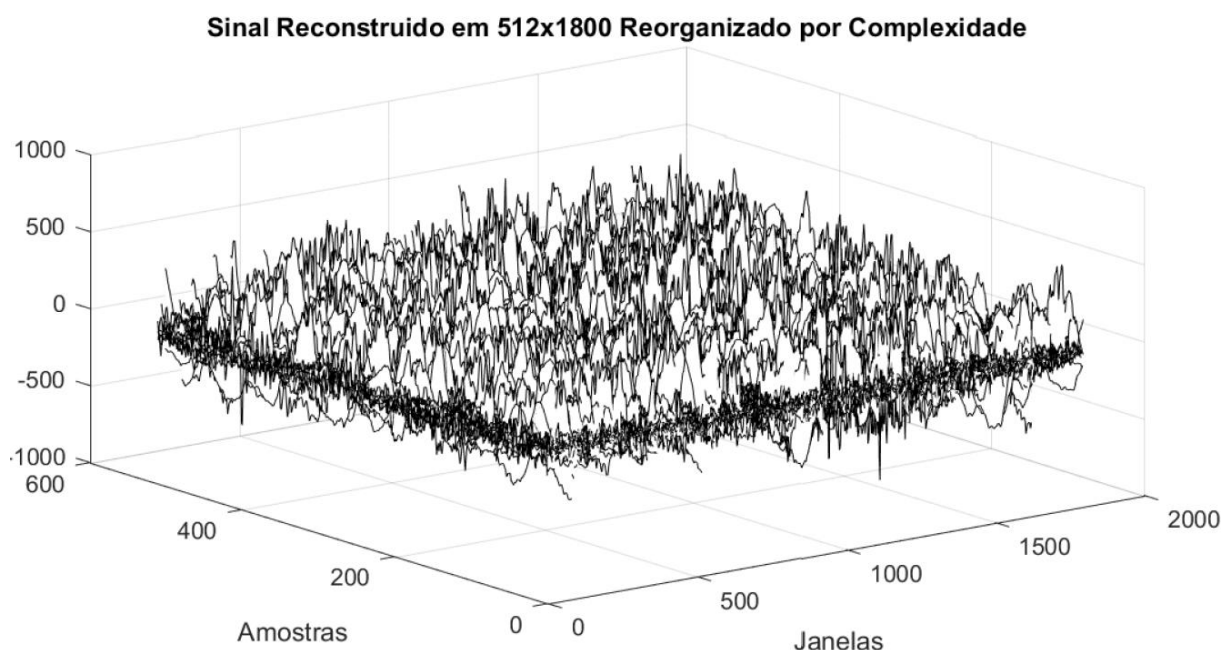


Figura 23: Matriz sem reorganizar, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512x 1800

4.2.2.2 Maior correlação

Para reorganizar a matriz por maior correlação, é calculada a correlação entre as colunas da matriz, ignorando a correlação da coluna com si mesmo (em que a correlação sempre vai ser máxima, mas não é útil para a reorganização). Então, é procurada a maior correlação global. Com a maior correlação global é analisada a maior correlação referente a essa global, e com isso é analisado qual é a maior terceira correlação, em que, dependendo de qual for a maior terceira correlação, é definido a ordem de qual é a primeira coluna da matriz reorganizada e a segunda. A primeira coluna tem que ser a que tiver melhor terceira correlação, assim é garantido

que a correlação da segunda com a terceira coluna seja a maior. Nas Figs. 24 e 25 pode ser visto como ficam os sinais das Figs. 22 e 23 nesse tipo de reorganização.

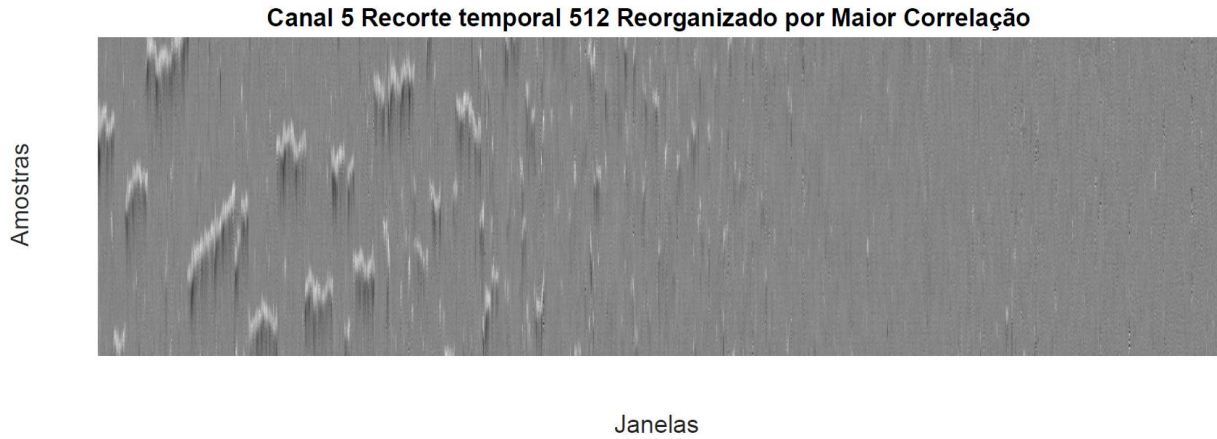


Figura 24: Matriz reorganizada por maior correlação, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512x 1800.

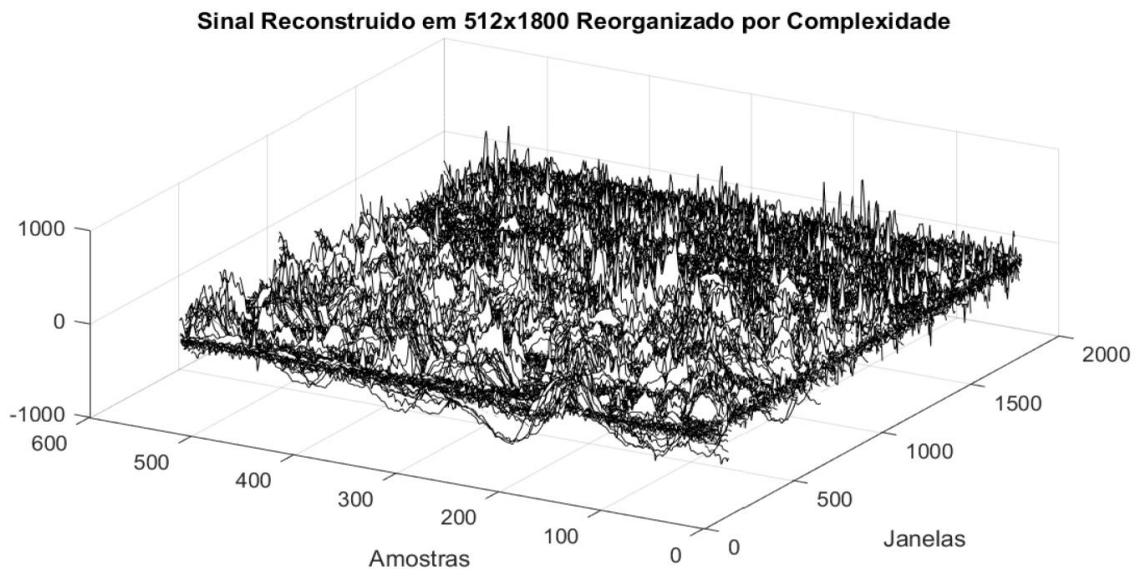


Figura 25: Matriz reorganizada por maior correlação, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512 x 1800.

Caso ocorra a situação em que a maior correlação de uma determinada coluna seja uma coluna que já foi reorganizada é procurada uma nova maior correlação global e então é analisado a terceira correlação, assim como foi feito para achar o critério inicial.

A correlação das colunas é dada pela equação (4.1):

$$R(u, w) = \frac{C(u, w)}{\sqrt{C(u, u) \cdot C(w, w)}}, \quad (4.1)$$

em que $C(u, w)$ é a covariância associada às colunas u e w .

4.2.2.3 Variância

Esse ordenamento é feito calculando a variância de cada coluna, gerando assim um vetor de variâncias igual ao número de colunas. Essas colunas são reorganizadas da menor variância para a maior variância, assim fazendo com que a matriz comece com pouca variação ou sinais de alta frequência, e vá aumentando até que chegue ao sinal de maior frequência. Este tipo de reorganização para o sinal das Figs. 22 e 23 pode ser visto nas Figs. 26 e 27.



Figura 26: Matriz reorganizada por variância, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.

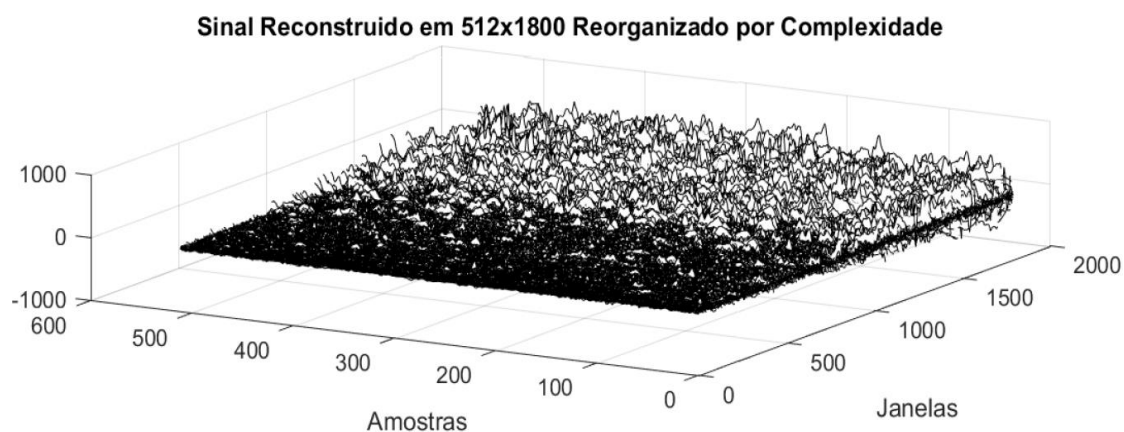


Figura 27: Matriz reorganizada por variância, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.

4.3.2.4 Complexidade modificada

A reorganização chamada de “Complexidade modificada” é descrita por Lima Filho *et al.* (2008) como um procedimento em que é primeiro localizado a coluna com a menor variância

em relação a si mesma (como feito na reorganização por variância) e, a partir dessa nova primeira coluna com menor variância na matriz reordenada, as seguintes colunas são escolhidas por meio da análise do erro médio quadrático (MSE, do inglês *Mean Squared Error*). Entre a última coluna posicionada (w) e as outras colunas da matriz que ainda não foram reposicionadas, o erro médio quadrático entre colunas é calculado usando a forma a seguir.

$$MSE_u = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_u(i) - x_w(i))^2, \quad (4.2)$$

em que a variável L é o número de elementos nas colunas, x_u é o elemento da coluna da qual se deseja saber o MSE , x_w é a coluna de referência e i é a posição do elemento dentro da coluna.

A seguir, nas Figs. 28 e 29, podem ser vistos os resultados desse tipo de reorganização para o sinal das Figs. 22 e 23.

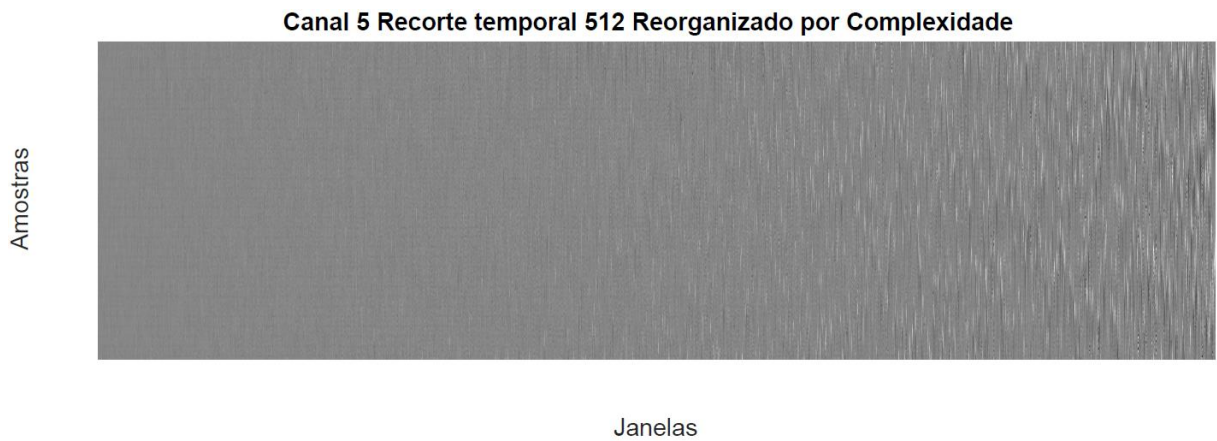


Figura 28: Matriz reorganizada por complexidade, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.



Figura 29: Matriz reorganizada por Complexidade modificada, sinal chb01_01, canal 5, tamanho de janela 512.

4.3 CODIFICADORES PROPOSTOS

Para a geração dos resultados foi proposto usar os pré-processamentos já descritos e comprimir os resultados deles usando o HEVC. Foi usado o codificador aritmético projetado por Said, A. (2014).

4.3.1 Codificador baseado em SVD reduzido

Esse codificador faz o recorte temporal e então aplicada a decomposição em valores singulares. Com a matriz Σ ele procura a melhor ordem para reduzir o SVD, usando ou AIC ou o MDL. Como a matriz $\hat{\Sigma}$ é uma matriz de diagonal principal, os valores dela são codificados como ponto fixo (ignorando a parte decimal) e, como eles são todos positivos, é codificado como inteiro sem sinal.

As matrizes ' \hat{U} ' e ' \hat{V} ' são salvas na forma de um único vetor e comprimidas usando o codificador aritmético projetado para *float*. O codificador pode ser visto na Fig. 30.

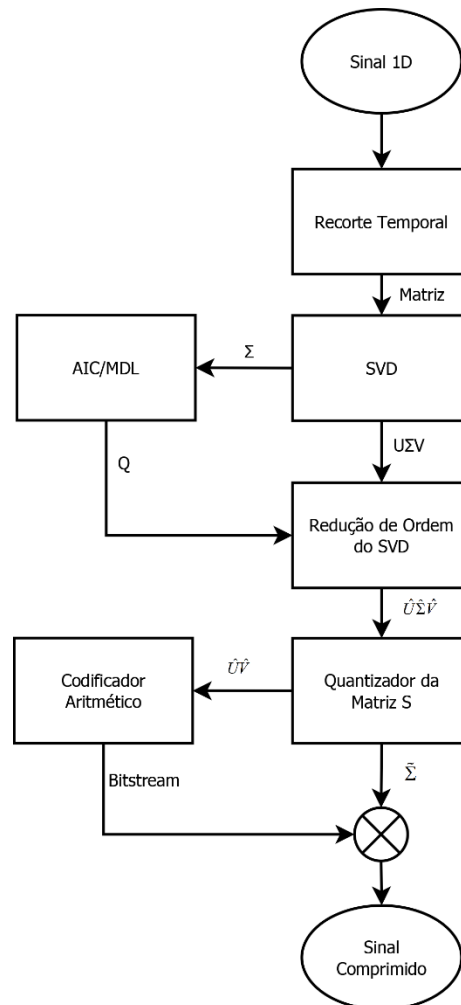


Figura 30: Diagrama codificador usando SVD.

Para retornar à forma original do sinal é desfeita a compressão aritmética. O vetor que é retornado é salvo em duas matrizes com os tamanhos de ' \hat{U} ' e ' \hat{V} '. Então é feita a multiplicação descrita pelo SVD para voltar para o sinal original e, por fim, ele é colocado na forma de um vetor de dados. O processo do decodificador pode ser visto na Fig. 31.

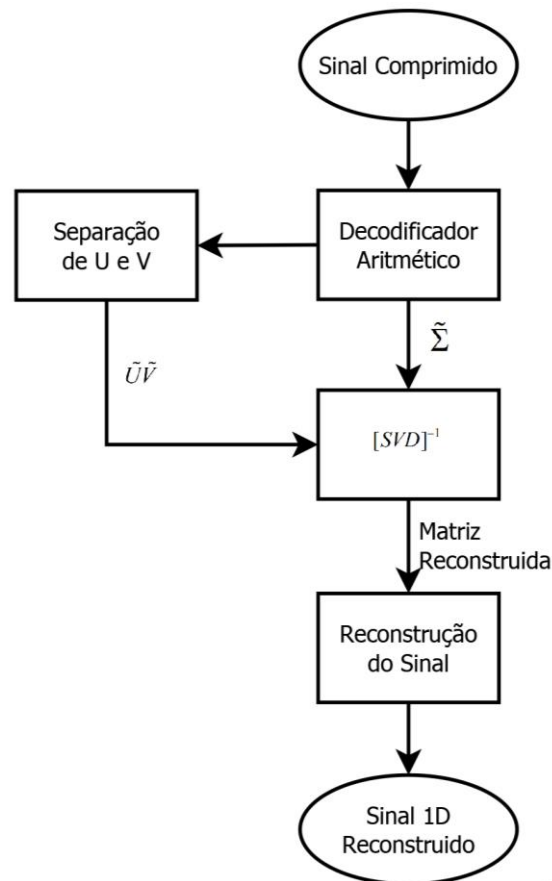


Figura 31: Diagrama decodificador usando SVD.

4.3.2 Codificador baseado em HEVC

A codificação usando o HEVC faz o seguinte procedimento: a princípio é feito o recorte temporal do sinal; depois o sinal é reorganizado usando um dos métodos já descritos; então, o sinal é remapeado em 16 bits. Após o remapeamento, o sinal é escrito num arquivo de formato YUV como um vetor de bits; esse vetor de bits é usado como entrada do HEVC, assim como os parâmetros de configuração do HEVC; além disso, é adicionado o cabeçalho ao vetor de bits gerado pelo HEVC. Esse procedimento pode ser visto na Fig. 32.

O processo de decodificação usando o HEVC lê as informações do cabeçalho e usa o vetor binário como entrada no decodificador do HEVC. Com o resultado do decodificador, o sinal é reorganizado na ordem original e por fim transformado de volta para uma dimensão. O procedimento pode ser visto na Fig. 33.

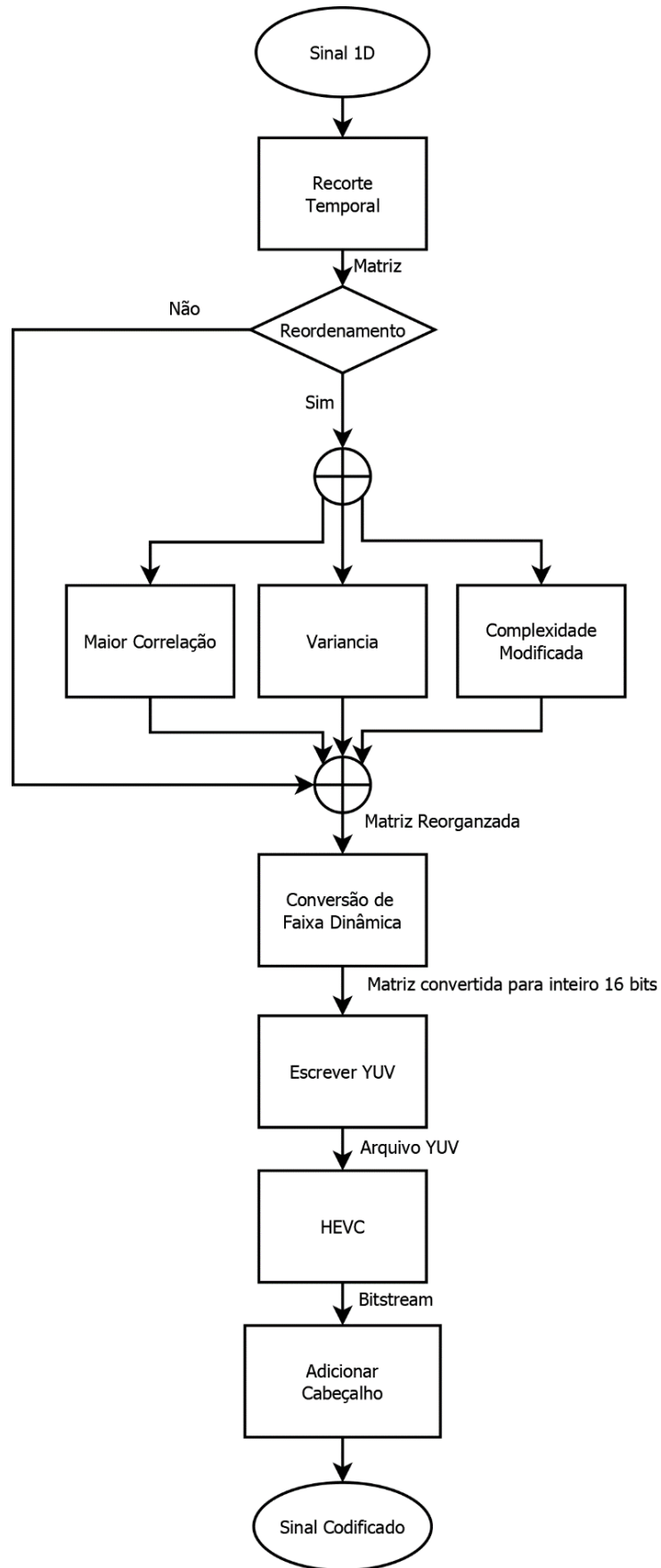


Figura 32: Diagrama codificador usando HEVC.

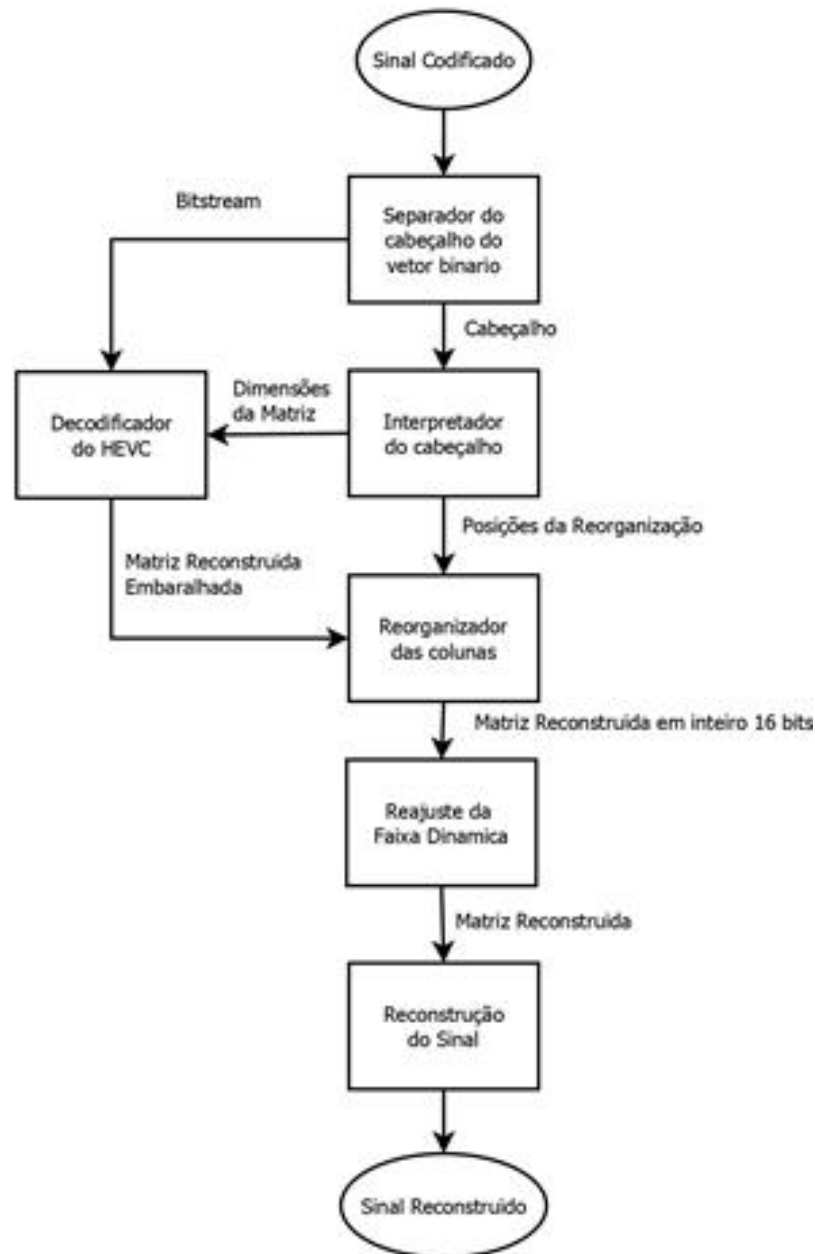


Figura 33: Diagrama decodificador usando HEVC.

4.4 MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO OBJETIVA

Como o sinal tem da base de dados possui 23 canais (mais informações no Capítulo 5), foi considerado o valor médio dos 23 canais tanto para as métricas de distorção como para as métricas de compressão. Deste modo, há um estimativa dos valores para o processo como um todo. Estas métricas foram amplamente utilizadas na literatura (Lima Filho *et al.*, 2008; Costa *et al.*, 2009a; Costa *et al.*, 2009b; Savino *et al.*, 2012; Dauwels *et al.*, 2013; Srinivasan *et al.*, 2013).

4.4.1 Métricas de distorção

A taxa de distorção entre a imagem reconstruída e a imagem original é calculada de acordo com duas métricas objetivas. O primeira é a raiz da diferença média quadrática percentual (PRD – do inglês, *Percentage Root mean Difference*) que é definida como:

$$PRD(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (X[n] - \bar{X}[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} X^2[n]}} \cdot 100, \quad (4.3)$$

em que $X[n]$ representa os dados originais e $\bar{X}[n]$ representa os dados reconstruídos. De acordo com este parâmetro, a distorção é dada em porcentagem: quanto maior a porcentagem, maior é a distorção causada no sinal reconstruído comparada ao sinal original.

A segunda métrica é a relação sinal-ruído (SNR), usualmente expressa em decibéis (dB), de modo que, quanto mais próximo de 0, maior é a distorção do sinal reconstruído em relação ao sinal original. A equação que caracteriza este parâmetro é dada por (4.4):

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} X^2[n]}{\sum_{n=0}^{N-1} (X - \bar{X})^2} \right). \quad (4.4)$$

4.4.2 Métricas de compressão

A Taxa de Compressão é o tamanho dos dados de entrada dividido pelo tamanho dos dados comprimidos (Wei *et al.*, 2001, p. 294).

Os valores para os bits de entrada (B_i) são definidos na equação (4.5)

$$B_i = b_0 \sum_{i=1}^R T_i \quad (4.5)$$

A equação (4.5) contém o número de bits do dado original b_0 (bits/amostra), multiplicado pelo número de dados de amostras. O i -ésimo dado é definido como T_i , em que R é número de segmentos do EEG.

O valor estimado para os bits de saída (B_o) varia com o tipo de codificador usado. Para o HEVC os dados são definidos na equação (4.6)

$$B_o = \left(\sum_{i=1}^Q C_i \right) + (b_0 N) + B_a, \quad (4.6)$$

em que C são os bits usados em cada variável do cabeçalho e Q é 4, que é o número de variáveis que vão no cabeçalho: a primeira variável tem 24 bit (tamanho máximo de 16777216 posições) e representa o comprimento do sinal original; a segunda variável são 16 bits para representar o valor mínimo do sinal; a terceira variável são 16 bits representando o valor máximo do sinal; a quarta variável tem 8 bits para descrever a quantidade de bits usados para escrever a posição na lista para voltar do método de reorganização usado, sendo os 4 primeiros bits para descrever as dezenas e os 4 últimos bits para descrever as unidade. Caso a matriz não tenha sido reorganizada, essa variável deve contar 0₂. Para o HEVC o cabeçalho sempre vai contar 64 bits.

A variável b_0 é o número de bits necessários para descrever cada elemento do vetor para desfazer a reorganização e N é o tamanho vetor. Essas duas primeiras multiplicações formam o que é chamado de *overhead* (informações de cabeçalho), que são informações necessárias para realizar os procedimentos inversos e retornar o sinal para o formato 1D original.

A última variável da equação, o B_a , representa o tamanho em bits do fluxo de bits que o HEVC retorna após comprimir o sinal.

Para o SVD o cálculo dos bits de saída é descrito pela equação (4.7).

$$B_o = b_0 C + b_1 + b_2 + b_3 + B_l, \quad (4.7)$$

em que b_0 é o número de bits usados para descrever o vetor $\hat{\Sigma}$ quantizado e C é o tamanho do vetor do vetor. As variáveis b_1 , b_2 , b_3 representam, respectivamente, o tamanho do vetor $\hat{\Sigma}$, o número de linhas da matriz e o número de colunas. A última variável, B_l , é a quantidade de bits na saída do codificador aritmético.

A razão de compressão (CR – do inglês, *Compression Ratio*) é definida pela divisão da quantidade de dados usados para descrever o sinal original (sinal de entrada) pela quantidade de dados usados para descrever o sinal reconstruído (sinal de saída). Para esse trabalho foi escolhido representar a quantidade de dados em bits, então, D_i é o mesmo valor de B_i e o valor dos dados de saída, D_o é o valor de B_o , como é descrito pela equação (4.8).

$$CR = \frac{D_i}{D_o}. \quad (4.8)$$

O fator de compressão (CF, do inglês *Compression Factor*) é a diferença entre a quantidade de dados para representar o sinal original menos a quantidade de dados usada para representar o sinal reconstruído, dividido pela quantidade de dados usada para representar o

sinal original, multiplicado por 100 para representar de forma percentual. A formula da CF pode ser vista na equação (4.9).

$$CF = \frac{D_i - D_o}{D_i} \cdot 100 \quad (4.9)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são representados os resultados para o HEVC e o SVD e as variáveis que podem modificar os resultados. Foi usado nesse capítulo os resultados com PRD como principal valor para analisar os resultados. Os resultados tanto para o SVD quanto para o HEVC que mostram os valores da SNR e outros resultados não apresentados aqui estão no final desse trabalho com apêndice I até o LXXVIII

5.1 BASE DE DADOS

Os dados utilizados são da base de dados da *PhysioNet*, (Shoeb, 2009; Goldberger *et al.*, 2000) coletados no *Children's Hospital Boston* (Hospital para crianças de Boston, EUA). Os sinais são gravações de doentes pediátricos com convulsões intratáveis, de acordo com a base de dados.

Foram feitas gravações de 23 casos, coletando dados de 22 indivíduos (5 do sexo masculino com idades entre 3 e 22 anos, e 17 do sexo feminino, com idades entre 1,5 e 19 anos). O sinal usado nesse trabalho é o caso 1 do indivíduo 1 (chb01_01). Esse indivíduo foi regravado um ano e meio depois, que no banco de dados é o caso 23.

Todos esses sinais foram amostrados com 256 amostras por minuto com resolução de 16 bits. A maioria dos sinais contem 23 canais (em poucos casos, o sinal do banco de dados pode ter 24 e 26 canais). O sinal usado nesse trabalho foi adquirido usando 23 canais.

5.2. HEVC

Os resultados obtidos com o HEVC mudam com as variáveis já explicadas, reorganização do sinal e tamanho do recorte temporal. Os valores que formam os gráficos mostrados a seguir podem ser vistos nas tabelas 1 até a 8.

As Tabelas 2 e 3 mostram os melhores resultados para cada um dos 5 valores de CF analisados e para cada uma das reorganizações.

Tabela 2: Melhores resultados de PRD para determinado CF e Reorganização.

	Valores de CF(%)									
Reorganização	75		80		85		90		95	
	PRD (%)	Janela	PRD (%)	Janela	PRD (%)	Janela	PRD (%)	Janela	PRD (%)	Janela
Sem Reorganização	2,779	64	4,326	64	6,940	64	11,679	64	22,618	64
Maior Correlação	3,027	256	4,892	256	7,922	128	13,274	128	24,356	256
Complexidade	3,073	1536	4,953	640	7,944	640	13,284	640	24,416	640
Variância	3,073	1536	4,953	640	7,944	640	13,284	640	24,416	640

Tabela 3: Melhores resultados de SNR para determinado CF e Reorganização.

Reorganização	Valores de CF(%)									
	75		80		85		90		95	
	SNR (dB)	Janela	SNR (dB)	Janela	SNR (dB)	Janela	SNR (dB)	Janela	SNR (dB)	Janela
Sem Reorganização	31,584	64	27,717	64	23,577	64	18,988	64	13,274	64
Maior Correlação	30,814	256	26,644	256	22,403	128	17,936	128	12,541	256
Complexidade	30,679	1536	26,539	640	22,375	640	17,927	640	12,652	640
Variância	30,679	1536	26,539	640	22,375	640	17,927	640	12,652	640

Os melhores resultados de PRD encontrados foram para sem reorganização (Fig. 32 e 36 e Tabela 2 e 3, apêndices I e II e XI até XXII), que, por causa da ausência do *overhead*, tem uma curva bastante diferente das curvas para as reorganizações. Para o CF de 75%, o melhor resultado foi a PRD de 2,779225 para o tamanho de janela 64; para o CF de 80%, o melhor resultado foi a PRD de 4.326483677 para o tamanho de janela 64; para o CF de 85%, o melhor resultado foi a PRD de 6.93956603 para o tamanho de janela 64; para o CF de 90%, o melhor resultado foi a PRD de 11.67909695 para o tamanho de janela 64; para o CF de 95%, o melhor resultado foi a PRD de 22.61848885 para o tamanho de janela 64.

5.1.1 Influência da Reorganização

Sem nenhuma reorganização é difícil notar por inspeção visual a influência do *overhead* no resultado final. Entretanto, é possível verificar a influência do *overhead* em um sinal reorganizado. Para os tamanhos de janela pequenos, o *overhead* é grande o suficiente para diminuir consideravelmente o fator de compressão, como pode ser notado nas Figs. 34 a 41.

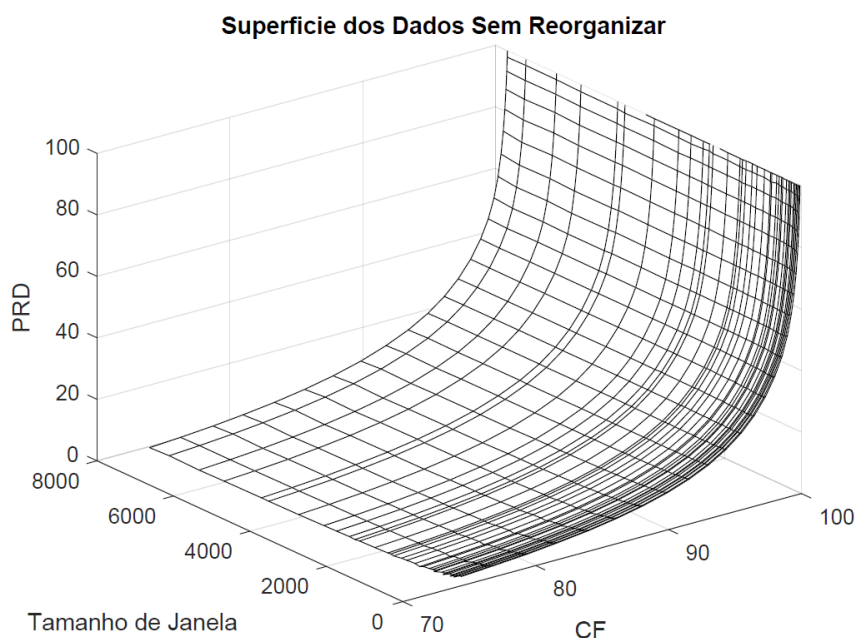


Figura 34: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, sem reorganização.

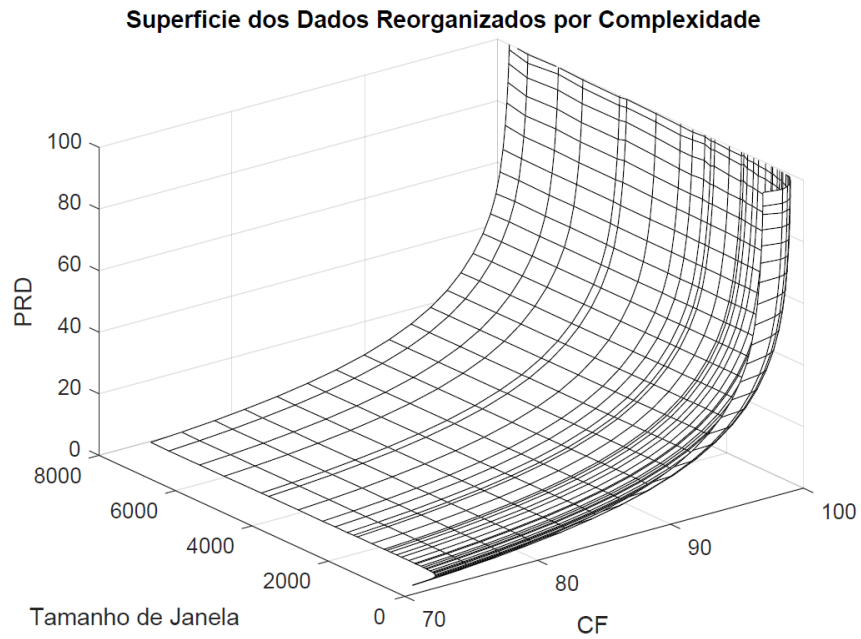


Figura 35: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por complexidade.

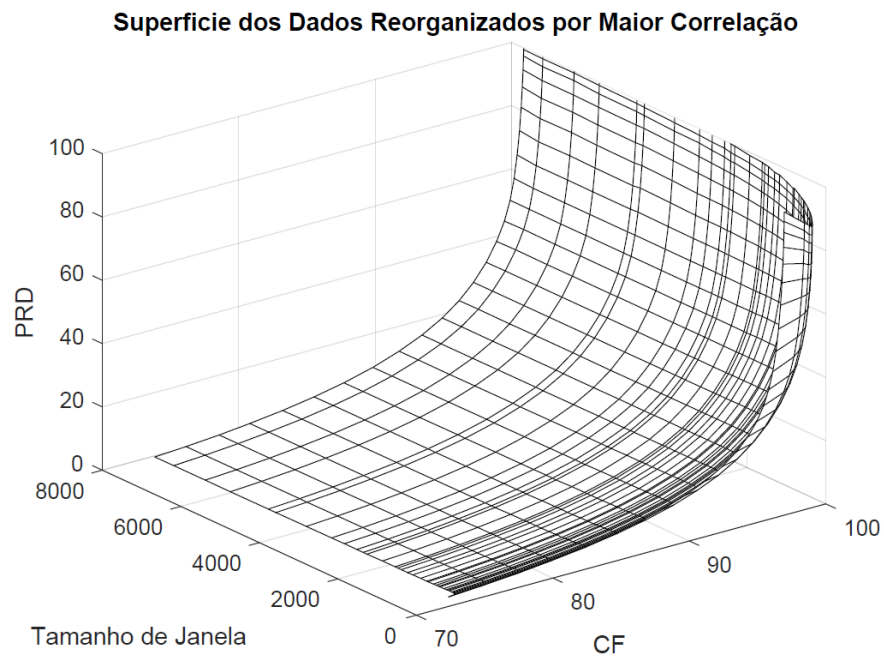


Figura 36: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por maior correlação.

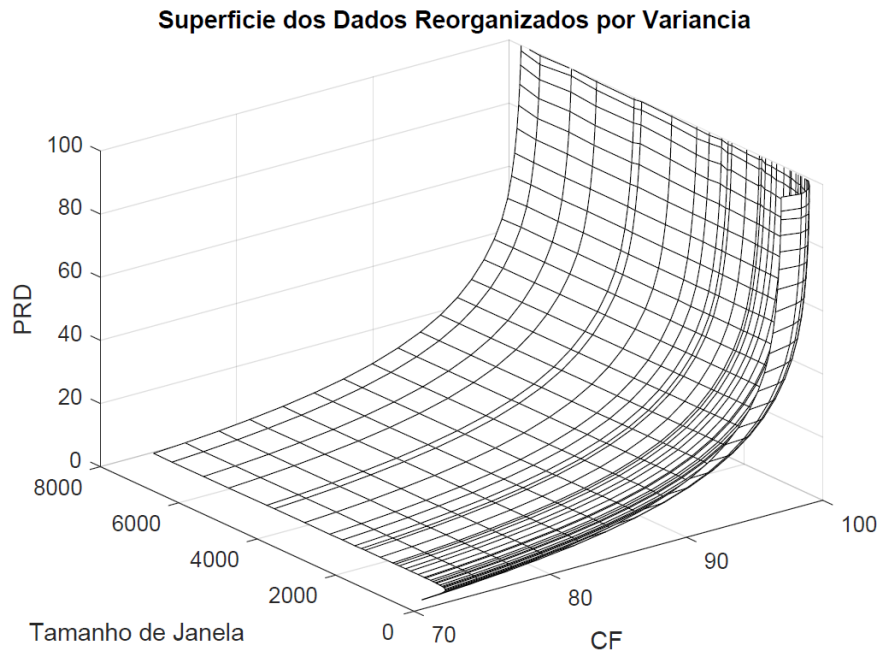


Figura 37: Resultado do HEVC com a média de todos os canais, reorganizado por variância.

As influências entre as reorganizações são mais sutis, pois todas as reorganizações têm um *overhead* do mesmo tamanho. Comparando os 3 formatos de reorganização, Figs. 34 a 41, é possível notar que a reorganização por complexidade (Fig. 39) teve os mesmos resultados que por variância (Fig. 40), como pode ser melhor visto nos apêndices V até VIII. Isso demonstra que, possivelmente, a única diferença entre a escolha desses dois métodos para o EEG seja o recurso computacional, cuja aferição não foi realizada nesse trabalho.

A reorganização por maior correlação (Fig. 41) teve resultados melhores para pequenos tamanhos de janela comparado com a reorganização por complexidade e a reorganização por variância (Figs. 39 e 40). Porém, para tamanhos de janela grandes, as outras duas reorganizações tiveram resultados melhores e, quanto maior o fator de compressão, melhor ficavam as compressões pré-processadas por complexidade e por variância.

As reorganizações melhoram o desempenho da compressão, porém não o suficiente para compensar o *overhead*, como é possível notar nas Figs. 35 até 37 e 39 até 41. A variação da PRD para alguns valores de janela chega a quase 1 ponto percentual, além das reorganizações aumentarem o uso computacional. O processo de reorganização não é suficiente para fazer com que se tenha um resultado melhor do que um processo sem reorganização no caso do sinal de EEG.

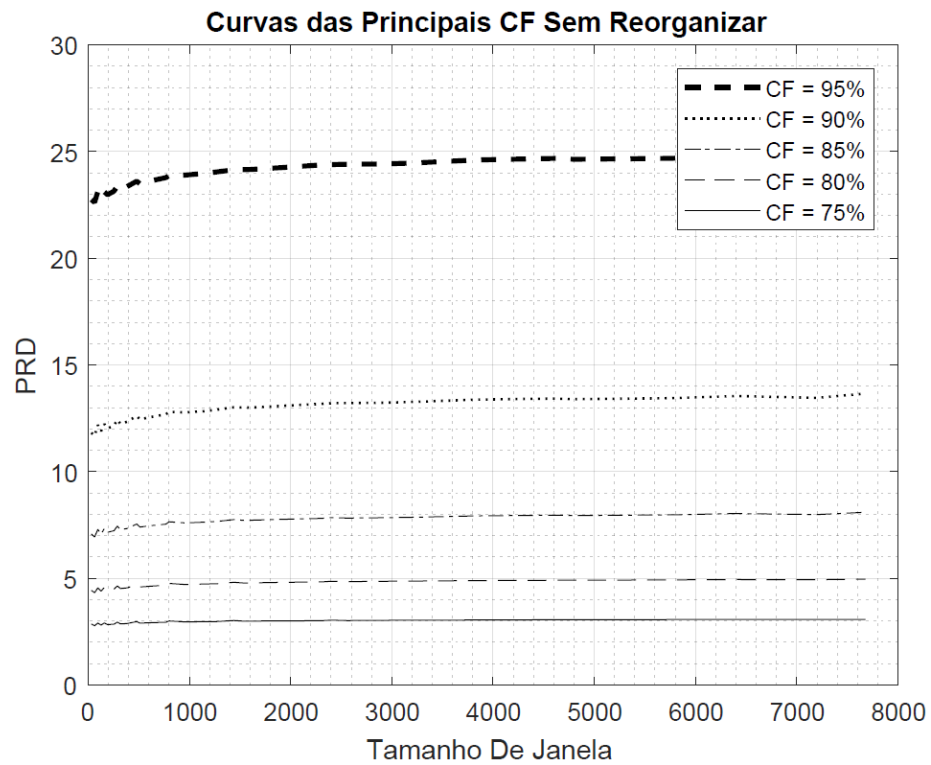


Figura 38: Curvas para os principais valores de CF Sem Reorganização.

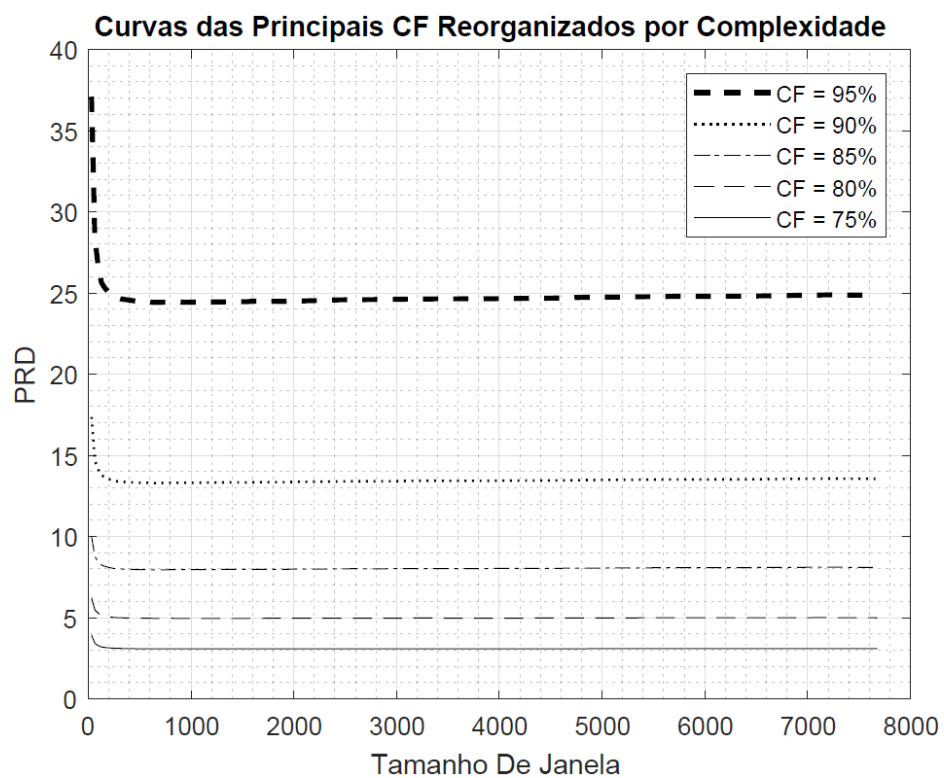


Figura 39: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por complexidade.

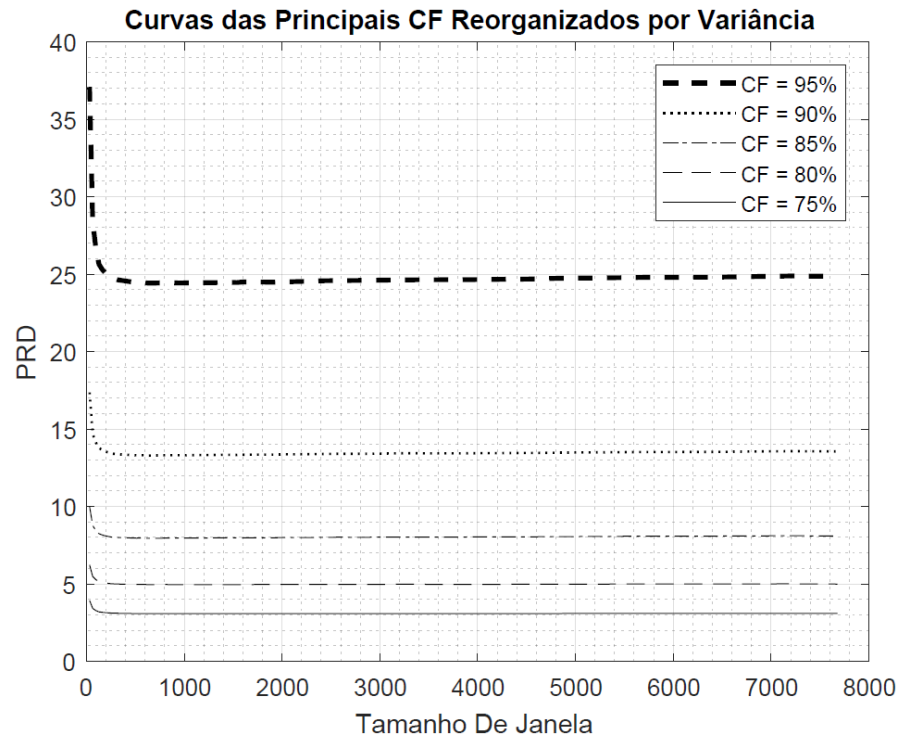


Figura 40: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por variância.

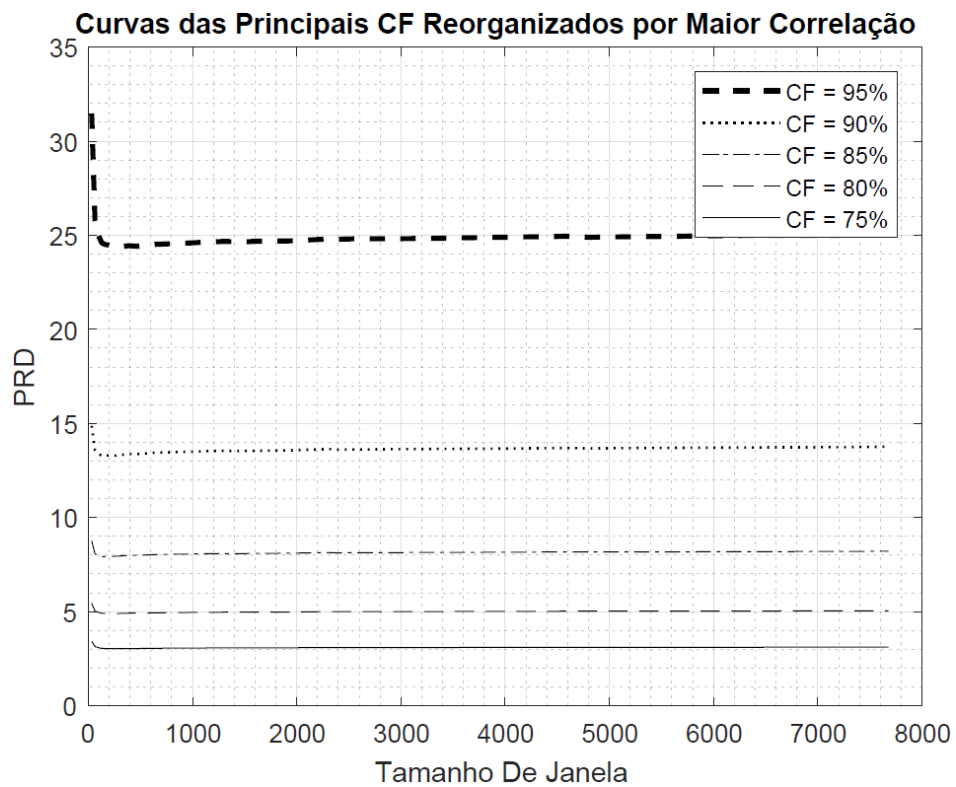


Figura 41: Curvas para os principais valores de CF reorganizado por Maior Correlação

5.1.2 Influência do Tamanho de Janela

Observou-se que, para o HEVC, há um tamanho de janela de que causa uma PRD mínima de acordo com o método de pré-processamento: para sem reorganização, o valor é de 64; para maior correlação, o valor varia entre 256 e 128; e para complexidade e variância o valor é de 640. A exceção fica por conta da curva de CF = 75%, para a qual o valor foi de 1536.

O maior bloco configurado para o HEVC utilizado neste trabalho foi de 64x64 e todos os comprimentos de janela que resultaram nos melhores valores foram múltiplos de 64. Porém, a quantidade linhas, exceto para o caso sem reorganização, não eram múltiplo de 64.

Os recortes do tamanho de janela considerados para a análise foram aqueles para os quais as matrizes não precisavam ser completadas com zeros.

5.2 SVD

O fator de compressão do SVD varia de acordo com a redução de ordem da matriz Σ para gerar o SVD reduzido. O primeiro detalhe encontrado é que, em muitos casos, a compressão usando essa transformada gerou expansão, ou seja, aumento dos dados finais comparado com os dados iniciais, como pode ser visto nas Figs. 42 e 43 e nos apêndices LIX até LXX. Outro ponto é que os valores de PRD ficaram bastante altos, o que para um sinal biomédico pode acarretar problemas de interpretação de parâmetros clínicos de interesse.

Tabela 4: Tabela com os melhores valores de PRD e SNR e o respectivo tamanho de janela para cada CF

SVD	PRD	Tamanho da Janela	SNR	Tamanho da Janela
CF = 75%	37,334	320	8,929	320
CF = 80%	40,568	288	8,149	288
CF = 85%	45,082	256	7,168	256
CF = 90%	52,878	192	5,735	256
CF = 95%	37,334	320	8,929	320

5.2.1 A Influência do Tamanho de Janela

Para o SVD, notou-se que havia um tamanho de janela em que ocorre a melhor PRD para cada valor de compressão. Este valor mínimo é bastante evidente na Fig. 43. Ao contrário do que ocorria com o HEVC, este valor mínimo não é um múltiplo de 64. Também é possível observar que não é necessário fazer um grande recorte temporal com o SVD para o codificador aritmético conseguir a melhor PRD para um determinado CF.

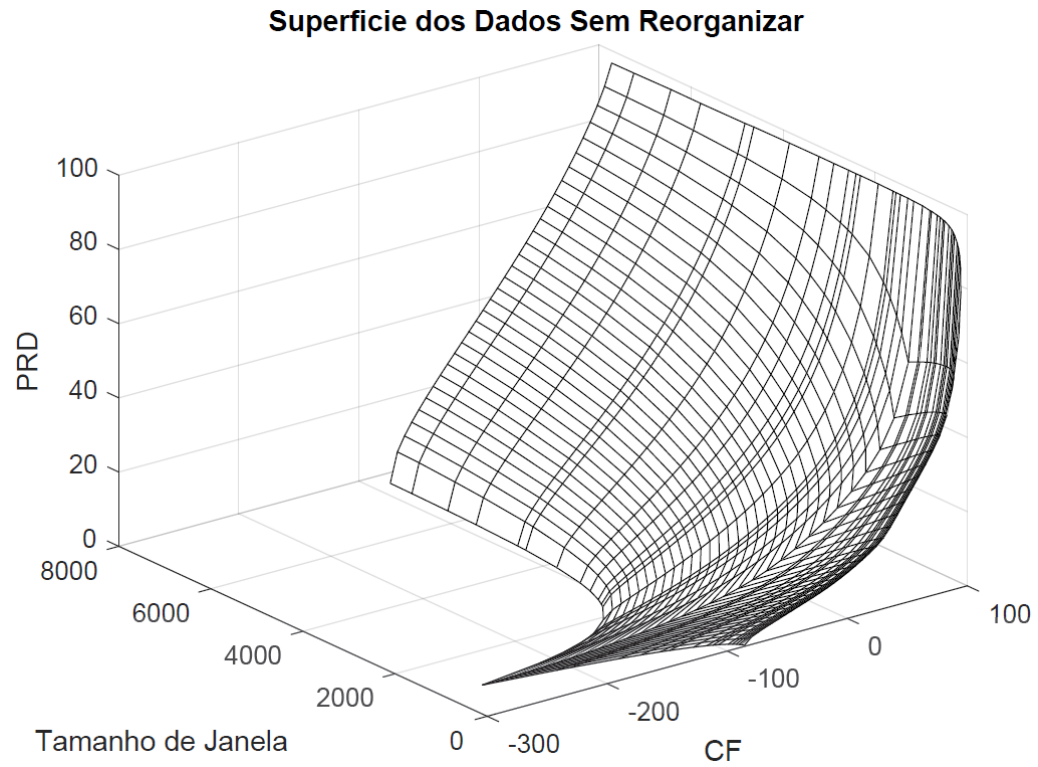


Figura 42: Superfície com os resultados da compressão usando SVD

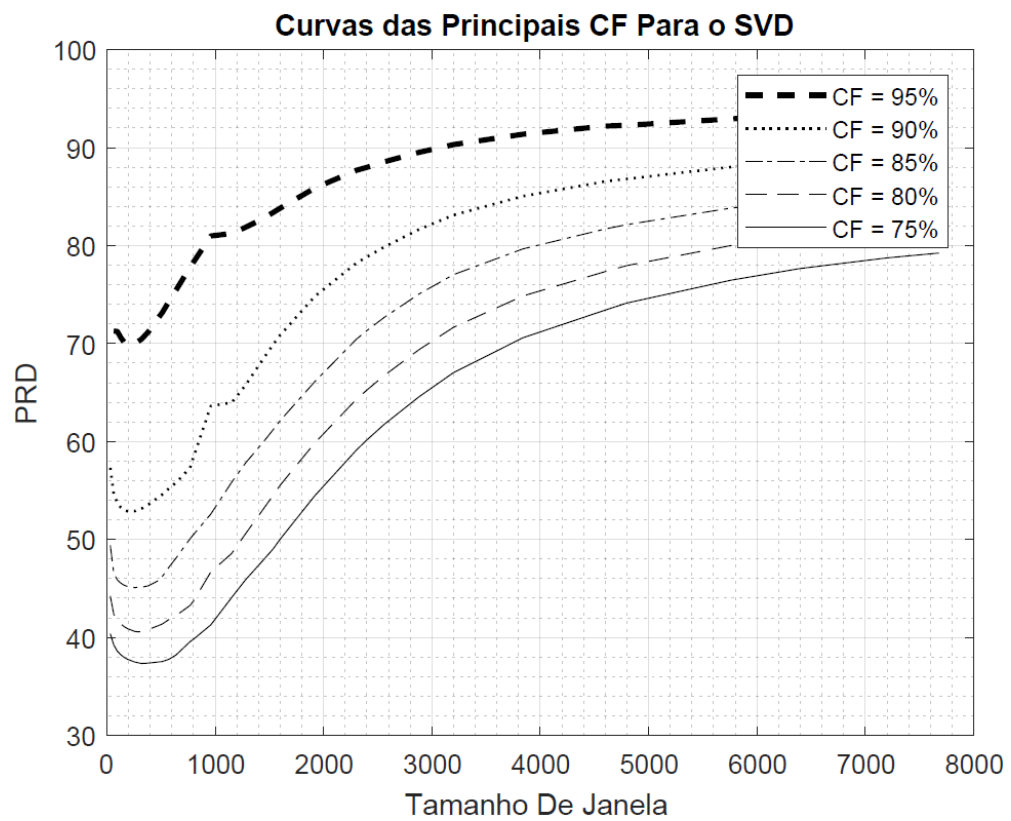


Figura 43: Curva das principais CF para o SVD.

5.2.2 A Ordem Ótima de Acordo com os critérios de AIC e MDL

A seleção de ordem ótima para o SVD truncado usando os critérios AIC e MDL mostrou grande variância entre canais distintos, como pode ser observado nos Apêndices LX e LXI no desvio padrão (σ). Os valores de janela pequenos tendem a apresentar melhor relação compressão-distorção. O AIC conseguiu uma melhor relação compressão-distorção que o MDL para tamanhos pequenos de janela de recorte temporal.

5.3 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DA LITERATURA

Srinivasan *et al.* (2013) realiza compressão de sinal de EEG usando dois codificadores: o conjunto de particionamento em bloco embutido (SPECK – do inglês, *Set Partitioning in Embedded block*) e o conjunto binário dividindo em árvores K - d (BISK – do inglês *Binary set Splitting in K-d trees*). No referido trabalho, os autores realizam a reorganização do sinal em forma de imagens (dados em 2D) e de volumes (dados em 3D). A base de dados usada no trabalho é a da *Physionet EEG Motor Movement/Imagery Dataset*, adquiridos com 64 canais, usando a configuração 10/10.

A aquisição dos sinais foi feita em pacientes saudáveis realizando tarefas de imagens motoras pelo sistema BCI2000 (Goldberger *et al.*, 2000). Os sinais de EEG são amostrados em 80Hz e digitalizados com resolução de 12 bits. Para testar os algoritmos, são selecionadas 12 gravações aleatórias das 109 disponíveis. Em cada gravação são considerados dois trechos de 1 minuto, em que em um dos trechos o paciente está ocioso piscando com os olhos e o outro o paciente está ocioso com os olhos fechados.

O primeiro método de organização feito por Srinivasan *et al.* (2013) é colocar cada canal como uma linha de uma matriz; os autores chamam esse método de “*Image*” e pode-se considerar equivalente à organização 2D implementada neste trabalho.

No segundo método, os autores constroem um tensor 3D: segmentam o sinal do início até o tamanho de janela escolhida e alocam na matriz no sentido da esquerda para a direita e na próxima linha os sinais oriundos do recorte temporal são alocados da direita para a esquerda, e assim prosseguem, alternadamente, invertendo a ordem dos recortes temporais, até empilhar todo o sinal em uma única “fatia”. Em cada fatia do tensor 3D é alocado um canal arranjado por meio deste método. Os autores denominam esta distribuição como $t/dt/s$ – recorte temporal

contra a variação do recorte temporal contra o “espaço”, que é a nomenclatura usada para se referir aos eletrodos correspondentes aos canais de EEG.

No último método, os autores usam da disposição espacial dos eletrodos no sistema 10/10 para correlacionar uma coordenada $[x,y]$ para cada canal e a variação temporal do sinal de cada canal é atribuída à profundidade do canal, o que os autores denominam $s/s/t$: as duas primeiras coordenadas indicam qual eletrodo será considerado e a última compõe a variação temporal do sinal captado. Tanto para o SPECK quanto para o BISK, com a diferença entre o resultado comprimido e o original, é calculado o erro, que é quantizado e codificado. O fator de quantização usado é chamado de δ .

Para comparar os resultados Srinivasan *et al.* (2013) com os encontrados no presente trabalho, foi convertido o valor de CR para CF usando a equação (4.8).

$$CF = 100 \left(1 - \left(\frac{1}{CR} \right) \right) \quad (4.8)$$

Os resultados encontrados por Srinivasan são mostrados no Apêndice LXII e podem ser comparados com os resultados obtidos nesse trabalho, que estão no Apêndice LXIII.

O codificador usando SVD desse trabalho não teve um desempenho considerável, porém, para o primeiro fator de quantização usado pelo Srinivasan, o HEVC não consegue valores de CF tão baixos. Para o segundo fator de quantização, o HEVC tem resultados melhores do que a compressão usando o SPECK e o mesmo acontece para o quarto fator de quantização.

Em Dauwels *et al.* (2013) os autores expandem o escopo dos codificadores usados no artigo de Srinivasan *et al.* (2013), propondo um método de compressão com SVD e PARAFAC e também testam outras reorganizações. A base de dados usada é a da *Physionet EEG Motor Movement/Imagery Dataset*. Os sinais são adquiridos com 64 canais (usando a configuração 10/10) em pacientes saudáveis realizando tarefas de imagens motoras pelo sistema BCI2000 (Goldberger *et al.*, 2000). Os sinais de EEG são amostrados em 80Hz e digitalizados com resolução de 12 bits. Para testar os algoritmos, os autores selecionam 12 gravações aleatórias das 109 disponíveis. Em cada gravação são consideradas 1024 amostras, o que corresponde a 12,8 segundos de sinal em questão.

O método de reorganização adicional do trabalho de Dauwels *et al.* (2013) em relação aos usados no artigo de Srinivasan *et al.* (2013) é construção de tensor de quatro dimensões a partir do volume $t/dt/s$. O volume $t/dt/s$ é dividido na direção z com L grupos de tamanho K

(ou seja, são gerados L blocos 3D de K fatias, com cada fatia uma correspondente a um canal). Esses pequenos tensores $t/dt/s$ são usados para formar um tensor de ordem 4 chamado de “ $t/dt/s/s$ ”.

Para reorganizações em duas dimensões é usado o SVD e para reorganizações de ordem maior é usado o PARAFAC; o procedimento de codificação dos dois métodos é semelhante. A princípio, o sinal é reorganizado em um dos formatos descritos anteriormente e então é aplicado ou o SVD ou o PARAFAC, a depender da ordem do tensor. A seguir, cada camada de bits das matrizes de alongamento é salva usando somente sua parte inteira e para as demais, que não são de alongamento, é realizada uma codificação de cada camada de bits. O processo inverso decodifica cada camada de bits, e assim consegue-se aumentar de forma progressiva a resolução do sinal reconstruído. Por fim, é feita a diferença do tensor original com o decodificado e (assim como na compressão usando o SPECK) o erro de reconstrução é codificado. É possível verificar os resultados obtidos pelos autores no Apêndice LXIV e comparar com os resultados obtidos neste trabalho apresentados no Apêndice LXV.

Nota-se que pela diferença de que é feita a compressão com SVD, Dauwels *et al.* (2013) conseguem resultados competitivos com o SVD. Assim, para diversos valores de CF, os autores conseguem alcançar uma PRD menor do que o método proposto usando HEVC. Novamente é possível observar que o SPECK não consegue apresentar resultados melhores que o HEVC e a maneira como foi implementado o SVD neste trabalho indica que os resultados ainda necessitam ser otimizados.

Savino *et al.* (2012) propõem o uso do JPEG2000 e do H.264-intra (um codificador de vídeo de uma geração anterior ao HEVC) para comprimir sinais de EEG e usam a mesma base de dados que apresentada neste trabalho, *Physionet CHB-MIT Scalp EEG Database*, para o mesmo paciente, porém aplicado a sinais diferentes, e utiliza também as mesmas reorganizações para compor o sinal 2D apresentadas neste trabalho. Os resultados obtidos por ele podem ser vistos no Apêndice LXVI e comparados com os resultados encontrados neste trabalho, no Apêndice LXVII.

É possível notar que a escolha do sinal usado já causa uma grande variação no resultado obtido, pois o chb01_02 apresenta aproximadamente o dobro de PRD se comparado ao chb01_15 em todos os métodos aplicados por Savino. Comparado com os valores na Apêndice LXVIII, é possível notar que para o sinal chb01_02 os valores encontrados neste trabalho estão bem próximos aos obtidos usando o H.264-intra. Entretanto, os resultados para o JPEG200 são significativamente melhores, mas o SVD não chega a ser competitivo em nenhum dos casos.

6 CONCLUSÃO

Analisando as Tabelas 2 a 4 é possível observar que o codificador usando HEVC apresentou um resultado melhor que o codificador usando SVD considerando tanto a métrica de PRD quanto a SNR. Provavelmente, tal fato ocorre por causa da capacidade de otimização do CABAC, porém é possível tentar melhorar a compressão com o SVD mudando o codificador aritmético. Algumas propostas seriam passar os valores das matrizes \hat{U} e \hat{V} para ponto fixo, transformar a parte decimal em inteira e comprimir usando um codificador aritmético para números inteiro. Outra proposta seria comprimir as camadas de bits, e assim usar um codificador aritmético binário.

A reorganização para o HEVC traz um *overhead* de tamanho bastante significativo, como pode ser visto na Seção 4.4.2., e, mesmo com o uso destes pré-processamentos (ou seja, das reorganizações) não se consegue resultados competitivos em relação aos resultados obtidos sem reorganização. Provavelmente, tal fato ocorra por conta de como os blocos de predição do HEVC conseguem trabalhar de forma mais otimizada, reduzindo o quanto o CABAC precisa comprimir. Porém, por causa do grande número de altas frequências, o CABAC não é capaz de fazer o melhor uso do sinal reorganizado, uma vez que os preditores do HEVC não foram projetados para variações em altas frequências (como pode ser visto no exemplo gráfico dos preditores na Fig. 20).

Para os valores de tamanho de janela analisados neste trabalho, tanto para o SVD quanto para o HEVC, foi possível encontrar um valor mínimo global, como mostrado nas Figs. 38 a 41 e 43. Para o HEVC esse mínimo, por inspeção visual, é bastante sutil e os mínimos encontrados são múltiplos de 64. Com um maior número de valores de janela de recorte temporal, poderia vir a ser analisada a influência do tamanho das janelas múltiplos de 64 contra tamanhos múltiplos de 32 (com exceção dos múltiplos de 32 que sejam múltiplos de 64), e verificar se há de fato alguma influência. Para o SVD é bastante evidente o ponto de mínima PRD em relação ao tamanho de janela, principalmente para valores elevados de fator de compressão, e os resultados mostram que ele independe dos múltiplos de 64, uma vez que a forma como é efetivada a compressão com o SVD não faz aproveitamento desses múltiplos de recorte temporal.

Na abordagem que faz uso do SVD, a seleção da ordem máxima pelo critério do AIC aparenta ter uma relação compressão-distorção melhor que o MDL, porém, como o desvio padrão foi consideravelmente alto, é difícil afirmar categoricamente por meio da análise dos

valores encontrados nesse trabalho. Contudo, é possível inferir, pelo valor elevado do desvio padrão, que os dois critérios variam bastante dependendo do canal que está sendo analisado.

Os valores de PRD médios (Tabelas 5 e 6) para as ordens selecionadas não foram os valores de PRD mínimos (Tabela 4) para cada tamanho de janela. Um hipótese era que o AIC ou o MDL conseguissem indicar esse valor, porém não foi possível confirmar efetivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akaike, H. (1998)** *Selected Papers of Hirotugu Akaike*. New York: Springer-Science, 1998.
- Ash, R. B. (1990)** *Information Theory*. New York: Dover Publication, 1990.
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. (2002)** *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach, Second Edition*. Fort Collins: Springer Science, 2002.
- Chavarriaga, R. & Millán, J. R. (2010)** Learning From EEG Error-Related Potentials in Noninvasive Brain-Computer Interfaces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2010, Vol. 18, 4.
- Costa, M. V. C. et al. (2009a)** Compression of Surface Electromyographic Signals Using Two-Dimensional Techniques. Editor: Ganesh R Naik. *Recent Advances in Biomedical Engineering*. Rijeka: InTech, 2009, pp. 17-32.
- Costa, M. V. C. et al. (2009b)** *Two-dimensional compression of surface electromyographic signals using column-correlation sorting and image encoders*. Minneapolis: IEEE, 2009. Engineering in Medicine and Biology Society. pp. 428-431.
- Dauwels, J.; Srinivasan, K. & Reddy, R. (2013)** Near-Lossless Multichannel EEG Compression Based on Matrix and Tensor Decompositions. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2013, Vol. 17, 3.
- Fields, M. C. et al. (2016)** *Rowan's Primer of EEG, 2e*. s.l.: Elsevier, 2016. 9780323353878.
- Goldberger, A. L. et al. (2000)** CHB-MIT Scalp EEG Database. *PhysioNet*. [Online] PhysioNet, 13 de Junho de 2000. <https://physionet.org/pn6/chbmit/> [Acesso em: 19 de junho de 2016.]
- Golub, G. H. & Van Loan, C. F. (2013)** *Matrix Computations 4th Edition*. Baltimore, Maryland : The Johns Hopkins University Press, 2013.
- Hossain, M. T.; Kumar, N. & Nasser, M. (2016)** Image compression and denoising using wavelet transformation, Fourier transformation and singular value decomposition (classical and robust). *Global Journal of Quantitative Science*. 2016, Vol. 3, 1.
- Kandel, E. R. et al. (2014)** *Princípios de Neurociências, 5ª Edição*. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2014.

- Li, Bin and Xu, Juzheng. 2016.** An Introduction to High Efficiency Video Coding Range Extensions. *ZTE Communications*. 2016, Vol. 14, 1.
- Lima Filho, E. B. et al. (2008)** ECG Signal Compression Based on Dc Equalization and Complexity Sorting. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2008, Vol. 55, 7, pp. 1923-1926.
- Rissanen, J. (1978)** Modeling By Shortest Data Description. *Automatica Vol. 13*. 1978, pp. 467-471.
- Said, A. (2014)** Introduction to Arithmetic Coding Theory and Practice. *HP Labs*. [Online] HP Labs, Abril 21, 2014. <http://www.hpl.hp.com/techreports/2004/HPL-2004-76.html>. [Acesso em: 12 de junho, 2017]
- Savino, H. J., Lima Filho, E. B. & Silva Júnior, W. S. (2012).** *Compressão de Sinais de EEG com JPEG2000 e H.264*. Brasília: s.n., 2012, XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações.
- Sayood, K. (2012)** *Introduction to Data Compression, 4th*. Waltham: Elsevier, Inc, 2012. ISBN 978-0-12-415796-5.
- Schwarz, G. (1978)** Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics*. 1978, Vol. 6, 2.
- Shannon, C. E. (1948)** A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*. 1948, Vol. XXVII, 3.
- Shoeb, A. (2009)** *Application of Machine Learning to Epileptic Seizure Onset Detection and Treatment*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- Srinivasan, K.; Dauwels, J. & Reddy, M. R. (2013)** Multichannel EEG Compression: Wavelet Based Image and Volumetric Coding Approach. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. January, 2013, Vol. 17, 1.
- Sze, V.; Budagavi, M. & Sullivan, G. J. (2014).** *High Efficiency Video Coding (HEVC): Algorithms and Architectures*. Cambridge: Springer International Publishing, 2014. 978-3-319-06894-7.
- Thakor, N. D. (1999).** Biopotentials and Electrophysiology Measurement. In: J. G. Webster. *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.
- Trefethen, L. N. & Bau III, D. (1997)** *Numerical Linear Algebra*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1997.

Wax, M. & Kailath, T. (1985) Detection of Signals by Information Theoretic Criteria. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. assp-33, no. 2. Abril de 1985, pp. 387-392.

Wei, J.-J.; Chang, C.-J.; Chou, N.-K. & Jan, G.-J. (2001) ECG Data Compression Using Truncated Singular Value Decomposition. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2001, Vol. 5, 4, pp. 290-299.

APÊNDICES

Apêndice		Pág.
I	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	78
II	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	79
III	PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por maior correlação, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	80
IV	SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por maior correlação, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	81
V	PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por complexidade, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	82
VI	SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por complexidade, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	83
VII	PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por variância, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	84
VIII	SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por variância, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	85
IX	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	86
X	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.	87
XI	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%	88
XII	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 80%	89
XIII	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 85%	90
XIV	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 90%	91
XV	PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 95%	92
XVI	Principais valores de CF usando HEVC, sem reorganização, com os valores da SNR.	93

XVII	Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, sem reorganização, com os valores da SNR	93
XVIII	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%	94
XIX	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 80%	95
XX	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 85%	96
XXI	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 90%	97
XXII	SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 95%	98
XXIII	PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 75%	99
XXIV	PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 80%	100
XXV	PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 85%	101
XXVI	PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 90%	102
XXVII	PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação para os valores de CF: 95%	103
XXVIII	Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Maior Correlação com os valores da SNR	104
XXIX	Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, com os valores da SNR	104
XXX	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 75%	105
XXXI	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 80%	106
XXXII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 85%	107
XXXIII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 90%	108
XXXIV	SNR para compressão usando HEVC reorganizado por maior correlação para os valores de CF: 95%	109
XXXV	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade para os valores de CF: 75%	110
XXXVI	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade para os valores de CF: 80%	111

XXXVII	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 85%	112
XXXVIII	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 90%	113
XXXIX	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 95%	114
XL	Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Complexidade com os valores da SNR	115
XLI	Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, com os valores da SNR	115
XLII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 75%	116
XLIII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 80%	117
XLIV	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 85%	118
XLV	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 90%	119
XLVI	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 95%	120
XLVII	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 75%	121
XLVIII	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 80%	122
XLIX	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 85%	123
L	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 90%	124
LI	PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 95%	125
LII	Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Variância com os valores da SNR	126
LIII	Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por variância, com os valores da SNR	126
LIV	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 75%	127
LV	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância para os valores de CF: 80%	128
LVI	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 85%	129
LVII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 90%	130

LVIII	SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 95%	131
LIX	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%	132
LX	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 80%	133
LXI	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 85%	134
LXII	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 90%	135
LXIII	PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 95%	136
LXIV	Principais valores de CF usando SVD com os valores da SNR	137
LXV	Superfície com os resultados da compressão usando SVD, com os valores da SNR	137
LXVI	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%	138
LXVII	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 80%	139
LXVIII	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 85%	140
LXIX	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 90%	141
LXX	SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 95%	142
LXXI	AIC médio, CF médio para cada AIC, PRD médio para cada AIC, SNR médio para cada AIC, e o desvio padrão para cada valor	143
LXXII	MDL médio, CF médio para cada MDL, PRD médio para cada MDL, SNR médio para cada MDL, e o desvio padrão para cada valor	144
LXXIII	Resultados obtidos por Srinivasan <i>et al.</i> (2016) com modificações	145
LXXIV	Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado pelo Srinivasan <i>et al.</i> (2016)	145
LXXV	Resultados obtidos por Dauwels <i>et al.</i> (2016) com modificações.	148
LXXVI	Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado pelo Dauwels <i>et al.</i> (2016)	149
LXXVII	Resultados encontrados por Savino <i>et al.</i> (2012) com modificações.	152
LXXVIII	Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado pelo Savino <i>et al.</i> (2012)	153

APÊNDICE I: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	2,860	4,436	7,077	11,818	22,752
64	2,779	4,326	6,940	11,679	22,618
96	2,903	4,551	7,291	12,185	23,135
128	2,809	4,400	7,071	11,897	22,835
160	2,910	4,574	7,334	12,231	23,111
192	2,832	4,449	7,158	12,029	22,975
256	2,853	4,494	7,233	12,161	23,149
288	2,946	4,643	7,447	12,432	23,387
320	2,867	4,522	7,279	12,234	23,213
384	2,880	4,553	7,335	12,336	23,356
480	2,972	4,699	7,544	12,609	23,612
512	2,902	4,596	7,405	12,447	23,488
576	2,913	4,616	7,442	12,514	23,578
640	2,924	4,639	7,479	12,577	23,649
768	2,941	4,676	7,539	12,683	23,778
800	3,002	4,761	7,650	12,805	23,873
960	2,957	4,710	7,597	12,774	23,899
1152	2,971	4,733	7,633	12,835	23,976
1280	2,977	4,750	7,670	12,909	24,052
1440	3,023	4,814	7,753	13,018	24,149
1536	2,993	4,781	7,716	13,007	24,151
1600	2,995	4,786	7,722	13,001	24,160
1920	3,006	4,812	7,765	13,084	24,250
2304	3,013	4,832	7,810	13,176	24,374
2400	3,042	4,862	7,843	13,209	24,390
2560	3,020	4,844	7,825	13,212	24,405
2880	3,031	4,860	7,839	13,226	24,415
3200	3,037	4,870	7,861	13,267	24,461
3840	3,046	4,894	7,927	13,376	24,608
4608	3,059	4,910	7,958	13,426	24,679
4800	3,057	4,908	7,942	13,395	24,638
5760	3,067	4,927	7,975	13,442	24,681
6400	3,068	4,942	8,037	13,543	24,819
7200	3,073	4,936	7,988	13,458	24,725
7680	3,076	4,962	8,097	13,659	25,008

APÊNDICE II: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	31,340	27,500	23,420	18,899	13,231
64	31,584	27,717	23,577	18,988	13,274
96	31,231	27,301	23,166	18,649	13,087
128	31,505	27,585	23,419	18,838	13,192
160	31,216	27,261	23,117	18,617	13,098
192	31,439	27,495	23,316	18,748	13,139
256	31,377	27,411	23,224	18,659	13,075
288	31,111	27,133	22,979	18,483	12,997
320	31,334	27,360	23,169	18,610	13,052
384	31,292	27,301	23,100	18,544	13,001
480	31,031	27,029	22,861	18,367	12,915
512	31,226	27,219	23,017	18,469	12,954
576	31,191	27,181	22,973	18,426	12,923
640	31,155	27,138	22,929	18,386	12,897
768	31,102	27,067	22,856	18,317	12,850
800	30,938	26,910	22,732	18,239	12,824
960	31,051	27,001	22,786	18,257	12,812
1152	31,009	26,957	22,743	18,218	12,788
1280	30,990	26,924	22,699	18,171	12,759
1440	30,858	26,805	22,603	18,105	12,734
1536	30,937	26,865	22,640	18,111	12,726
1600	30,927	26,854	22,636	18,116	12,727
1920	30,892	26,804	22,582	18,062	12,697
2304	30,866	26,764	22,528	18,006	12,654
2400	30,791	26,709	22,492	17,987	12,655
2560	30,843	26,738	22,507	17,984	12,645
2880	30,810	26,709	22,492	17,975	12,646
3200	30,792	26,690	22,464	17,949	12,632
3840	30,765	26,643	22,399	17,882	12,579
4608	30,725	26,612	22,367	17,850	12,554
4800	30,730	26,615	22,381	17,869	12,571
5760	30,700	26,582	22,351	17,840	12,557
6400	30,693	26,548	22,291	17,776	12,506
7200	30,683	26,562	22,336	17,831	12,539
7680	30,669	26,509	22,234	17,705	12,433

APÊNDICE III: PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por maior correlação, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	3,420	5,443	8,763	14,871	31,468
64	3,143	5,024	8,066	13,581	25,784
96	3,086	4,957	7,988	13,402	25,009
128	3,046	4,906	7,922	13,274	24,600
160	3,038	4,900	7,928	13,281	24,509
192	3,035	4,899	7,938	13,298	24,482
256	3,027	4,892	7,934	13,289	24,356
288	3,030	4,897	7,950	13,306	24,388
320	3,033	4,902	7,960	13,328	24,392
384	3,038	4,914	7,989	13,372	24,443
480	3,039	4,914	7,984	13,373	24,415
512	3,042	4,920	7,998	13,393	24,435
576	3,046	4,926	8,010	13,415	24,463
640	3,051	4,936	8,029	13,445	24,515
768	3,055	4,941	8,036	13,465	24,543
800	3,057	4,945	8,045	13,469	24,555
960	3,061	4,953	8,054	13,492	24,586
1152	3,067	4,962	8,075	13,527	24,639
1280	3,070	4,966	8,081	13,538	24,666
1440	3,071	4,969	8,083	13,534	24,661
1536	3,072	4,967	8,084	13,543	24,653
1600	3,074	4,971	8,090	13,543	24,682
1920	3,077	4,978	8,100	13,567	24,697
2304	3,089	4,998	8,137	13,635	24,799
2400	3,086	4,992	8,117	13,610	24,787
2560	3,088	4,997	8,130	13,616	24,812
2880	3,089	4,996	8,132	13,629	24,813
3200	3,090	5,004	8,141	13,638	24,825
3840	3,094	5,008	8,150	13,658	24,883
4608	3,102	5,020	8,169	13,693	24,944
4800	3,099	5,019	8,163	13,674	24,895
5760	3,103	5,026	8,174	13,706	24,952
6400	3,106	5,029	8,184	13,727	24,998
7200	3,108	5,037	8,194	13,734	25,000
7680	3,109	5,040	8,209	13,764	25,060

APÊNDICE IV: SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por maior correlação, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	29,760	25,722	21,543	16,880	10,321
64	30,485	26,407	22,245	17,722	12,097
96	30,646	26,528	22,333	17,847	12,375
128	30,762	26,620	22,403	17,936	12,541
160	30,782	26,631	22,402	17,934	12,583
192	30,789	26,630	22,392	17,926	12,597
256	30,814	26,644	22,399	17,934	12,648
288	30,804	26,634	22,384	17,922	12,640
320	30,795	26,622	22,374	17,910	12,640
384	30,778	26,601	22,346	17,880	12,621
480	30,776	26,602	22,349	17,881	12,635
512	30,767	26,588	22,336	17,869	12,629
576	30,755	26,578	22,323	17,855	12,618
640	30,739	26,560	22,305	17,835	12,599
768	30,726	26,549	22,297	17,823	12,589
800	30,723	26,540	22,288	17,819	12,587
960	30,708	26,528	22,279	17,806	12,577
1152	30,691	26,508	22,257	17,783	12,557
1280	30,682	26,501	22,251	17,776	12,548
1440	30,677	26,497	22,249	17,779	12,551
1536	30,677	26,500	22,248	17,773	12,551
1600	30,670	26,492	22,242	17,772	12,543
1920	30,663	26,479	22,232	17,758	12,537
2304	30,626	26,446	22,195	17,714	12,502
2400	30,634	26,455	22,213	17,729	12,507
2560	30,627	26,448	22,201	17,725	12,497
2880	30,626	26,448	22,200	17,719	12,498
3200	30,621	26,439	22,190	17,712	12,493
3840	30,610	26,431	22,182	17,699	12,471
4608	30,586	26,412	22,162	17,677	12,453
4800	30,595	26,413	22,167	17,688	12,471
5760	30,583	26,405	22,156	17,669	12,452
6400	30,577	26,397	22,146	17,657	12,433
7200	30,570	26,385	22,137	17,650	12,433
7680	30,566	26,379	22,123	17,633	12,409

APÊNDICE V: PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por complexidade, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	3,928	6,225	10,001	17,358	37,088
64	3,417	5,476	8,766	14,685	28,401
96	3,278	5,274	8,445	14,128	26,680
128	3,191	5,144	8,242	13,780	25,642
160	3,163	5,093	8,162	13,646	25,316
192	3,143	5,055	8,104	13,553	25,081
256	3,110	5,007	8,020	13,409	24,746
288	3,105	5,000	8,012	13,397	24,699
320	3,101	4,990	7,992	13,367	24,632
384	3,094	4,979	7,979	13,346	24,574
480	3,083	4,965	7,959	13,311	24,480
512	3,080	4,961	7,950	13,297	24,448
576	3,080	4,961	7,960	13,307	24,453
640	3,076	4,953	7,944	13,284	24,416
768	3,075	4,953	7,949	13,301	24,433
800	3,077	4,957	7,957	13,307	24,444
960	3,074	4,954	7,954	13,300	24,426
1152	3,076	4,957	7,964	13,314	24,447
1280	3,075	4,955	7,966	13,322	24,448
1440	3,075	4,956	7,973	13,337	24,475
1536	3,073	4,953	7,967	13,327	24,458
1600	3,075	4,957	7,977	13,342	24,493
1920	3,075	4,957	7,980	13,353	24,483
2304	3,076	4,960	7,993	13,376	24,547
2400	3,079	4,965	8,003	13,385	24,574
2560	3,081	4,969	8,011	13,400	24,584
2880	3,078	4,966	8,010	13,402	24,599
3200	3,084	4,974	8,024	13,428	24,633
3840	3,079	4,968	8,025	13,427	24,642
4608	3,084	4,975	8,041	13,456	24,689
4800	3,085	4,978	8,048	13,471	24,729
5760	3,091	4,994	8,080	13,514	24,794
6400	3,093	4,993	8,084	13,522	24,804
7200	3,098	5,004	8,107	13,566	24,882
7680	3,089	4,986	8,087	13,550	24,857

APÊNDICE VI: SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por complexidade, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	28,577	24,552	20,356	15,605	8,914
64	29,781	25,690	21,555	17,037	11,310
96	30,116	26,005	21,872	17,390	11,861
128	30,324	26,208	22,073	17,611	12,198
160	30,410	26,286	22,153	17,697	12,321
192	30,467	26,348	22,211	17,757	12,408
256	30,566	26,439	22,296	17,849	12,531
288	30,583	26,453	22,304	17,857	12,550
320	30,595	26,470	22,323	17,875	12,574
384	30,618	26,493	22,337	17,888	12,595
480	30,649	26,520	22,358	17,911	12,630
512	30,658	26,526	22,367	17,919	12,642
576	30,656	26,527	22,359	17,913	12,639
640	30,668	26,539	22,375	17,927	12,652
768	30,672	26,539	22,370	17,917	12,647
800	30,667	26,532	22,361	17,913	12,644
960	30,675	26,541	22,366	17,918	12,651
1152	30,667	26,534	22,355	17,907	12,644
1280	30,673	26,534	22,357	17,903	12,643
1440	30,672	26,532	22,348	17,893	12,634
1536	30,679	26,538	22,353	17,900	12,639
1600	30,672	26,532	22,345	17,890	12,628
1920	30,673	26,532	22,342	17,884	12,629
2304	30,667	26,523	22,328	17,868	12,609
2400	30,660	26,515	22,320	17,862	12,599
2560	30,653	26,509	22,311	17,853	12,595
2880	30,661	26,513	22,313	17,853	12,590
3200	30,645	26,498	22,299	17,834	12,576
3840	30,658	26,507	22,299	17,836	12,572
4608	30,642	26,493	22,282	17,818	12,555
4800	30,642	26,489	22,275	17,808	12,540
5760	30,621	26,459	22,245	17,782	12,518
6400	30,616	26,459	22,240	17,775	12,511
7200	30,600	26,440	22,218	17,748	12,485
7680	30,629	26,470	22,239	17,761	12,492

APÊNDICE VII: PRD para compressão usando HEVC, usando reorganização por variância, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	3,928	6,225	10,001	17,358	37,088
64	3,417	5,476	8,766	14,685	28,401
96	3,278	5,274	8,445	14,128	26,680
128	3,191	5,144	8,242	13,780	25,642
160	3,163	5,093	8,162	13,646	25,316
192	3,143	5,055	8,104	13,553	25,081
256	3,110	5,007	8,020	13,409	24,746
288	3,105	5,000	8,012	13,397	24,699
320	3,101	4,990	7,992	13,367	24,632
384	3,094	4,979	7,979	13,346	24,574
480	3,083	4,965	7,959	13,311	24,480
512	3,080	4,961	7,950	13,297	24,448
576	3,080	4,961	7,960	13,307	24,453
640	3,076	4,953	7,944	13,284	24,416
768	3,075	4,953	7,949	13,301	24,433
800	3,077	4,957	7,957	13,307	24,444
960	3,074	4,954	7,954	13,300	24,426
1152	3,076	4,957	7,964	13,314	24,447
1280	3,075	4,955	7,966	13,322	24,448
1440	3,075	4,956	7,973	13,337	24,475
1536	3,073	4,953	7,967	13,327	24,458
1600	3,075	4,957	7,977	13,342	24,493
1920	3,075	4,957	7,980	13,353	24,483
2304	3,076	4,960	7,993	13,376	24,547
2400	3,079	4,965	8,003	13,385	24,574
2560	3,081	4,969	8,011	13,400	24,584
2880	3,078	4,966	8,010	13,402	24,599
3200	3,084	4,974	8,024	13,428	24,633
3840	3,079	4,968	8,025	13,427	24,642
4608	3,084	4,975	8,041	13,456	24,689
4800	3,085	4,978	8,048	13,471	24,729
5760	3,091	4,994	8,080	13,514	24,794
6400	3,093	4,993	8,084	13,522	24,804
7200	3,098	5,004	8,107	13,566	24,882
7680	3,089	4,986	8,087	13,550	24,857

APÊNDICE VIII: SNR para compressão usando HEVC, usando reorganização por variância, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	28,577	24,552	20,356	15,605	8,914
64	29,781	25,690	21,555	17,037	11,310
96	30,116	26,005	21,872	17,390	11,861
128	30,324	26,208	22,073	17,611	12,198
160	30,410	26,286	22,153	17,697	12,321
192	30,467	26,348	22,211	17,757	12,408
256	30,566	26,439	22,296	17,849	12,531
288	30,583	26,453	22,304	17,857	12,550
320	30,595	26,470	22,323	17,875	12,574
384	30,618	26,493	22,337	17,888	12,595
480	30,649	26,520	22,358	17,911	12,630
512	30,658	26,526	22,367	17,919	12,642
576	30,656	26,527	22,359	17,913	12,639
640	30,668	26,539	22,375	17,927	12,652
768	30,672	26,539	22,370	17,917	12,647
800	30,667	26,532	22,361	17,913	12,644
960	30,675	26,541	22,366	17,918	12,651
1152	30,667	26,534	22,355	17,907	12,644
1280	30,673	26,534	22,357	17,903	12,643
1440	30,672	26,532	22,348	17,893	12,634
1536	30,679	26,538	22,353	17,900	12,639
1600	30,672	26,532	22,345	17,890	12,628
1920	30,673	26,532	22,342	17,884	12,629
2304	30,667	26,523	22,328	17,868	12,609
2400	30,660	26,515	22,320	17,862	12,599
2560	30,653	26,509	22,311	17,853	12,595
2880	30,661	26,513	22,313	17,853	12,590
3200	30,645	26,498	22,299	17,834	12,576
3840	30,658	26,507	22,299	17,836	12,572
4608	30,642	26,493	22,282	17,818	12,555
4800	30,642	26,489	22,275	17,808	12,540
5760	30,621	26,459	22,245	17,782	12,518
6400	30,616	26,459	22,240	17,775	12,511
7200	30,600	26,440	22,218	17,748	12,485
7680	30,629	26,470	22,239	17,761	12,492

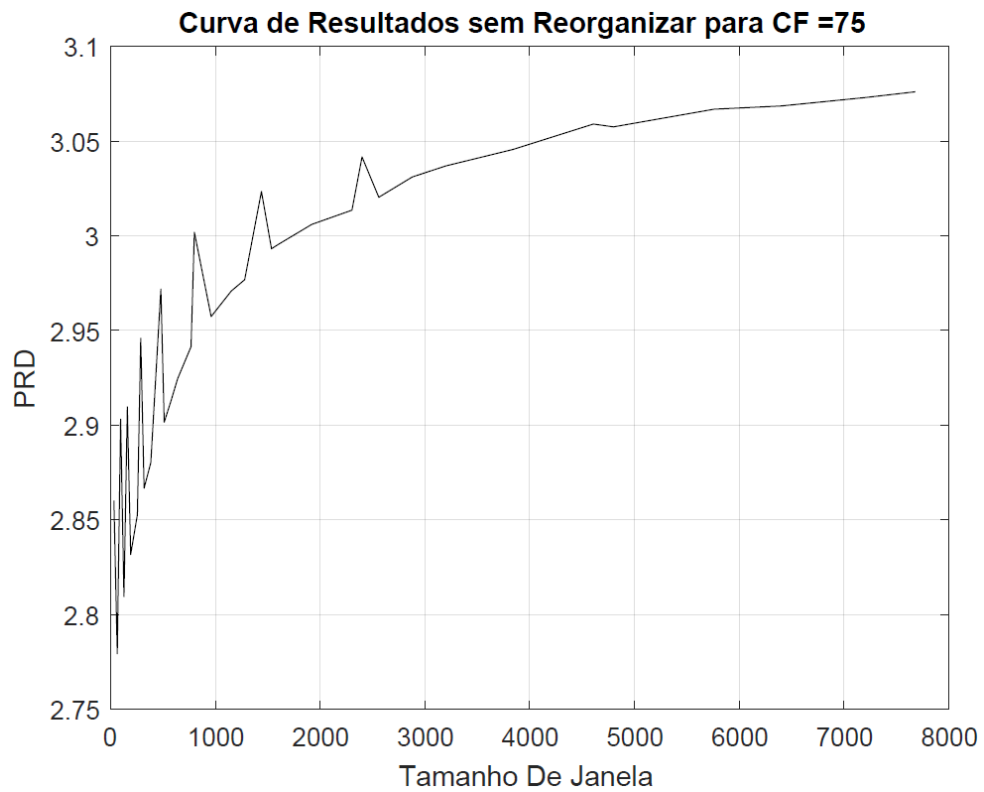
APÊNDICE IX: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	40,371	44,222	49,404	57,310	--
64	39,230	42,367	46,547	54,592	71,266
96	38,606	41,697	45,873	53,761	71,245
128	38,236	41,387	45,548	53,273	70,626
160	37,957	41,098	45,323	52,986	70,128
192	37,764	40,888	45,194	52,878	69,929
256	37,489	40,613	45,082	52,887	69,940
288	37,411	40,568	45,110	53,040	70,203
320	37,334	40,582	45,115	53,140	70,441
384	37,374	40,802	45,268	53,556	71,204
480	37,492	41,221	45,820	54,341	72,685
512	37,530	41,366	46,218	54,590	73,159
576	37,783	41,846	47,205	55,231	74,347
640	38,216	42,240	48,113	55,808	75,476
768	39,564	43,260	50,068	57,302	77,790
800	39,813	43,712	50,494	58,409	78,315
960	41,281	46,684	52,595	63,623	80,981
1152	44,069	48,567	55,833	63,963	81,231
1280	45,877	50,573	57,802	65,745	81,864
1440	47,844	53,032	59,884	68,381	82,735
1536	49,046	54,524	61,216	69,914	83,385
1600	50,032	55,543	62,134	70,857	83,817
1920	54,469	59,858	66,117	74,819	85,873
2304	59,132	64,318	70,447	78,221	87,686
2400	60,155	65,250	71,317	78,839	87,984
2560	61,750	66,735	72,667	79,855	88,547
2880	64,552	69,364	75,047	81,641	89,511
3200	67,034	71,657	77,035	83,109	90,309
3840	70,586	74,852	79,659	85,039	91,366
4608	73,443	77,371	81,716	86,558	92,202
4800	74,137	77,958	82,141	86,803	92,274
5760	76,465	80,001	83,825	88,020	92,931
6400	77,659	81,028	84,663	88,651	93,337
7200	78,741	81,926	85,359	89,136	93,582
7680	79,237	82,344	85,668	89,362	93,727

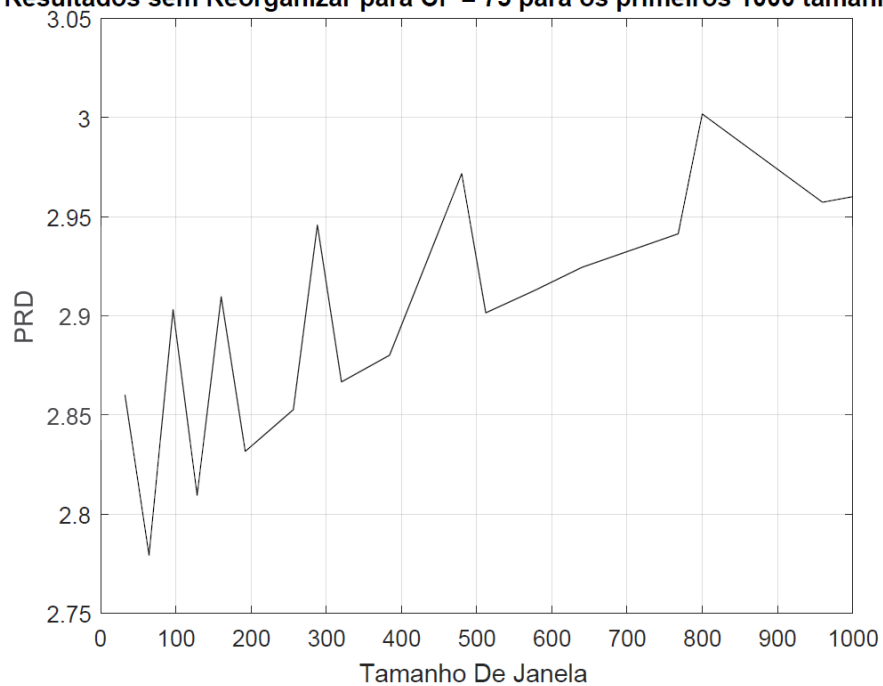
APÊNDICE X: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%, 80%, 85%, 90% e 95%.

Tamanho de Janela	CF = 75%	CF = 80%	CF = 85%	CF = 90%	CF = 95%
32	8,186	7,339	6,311	4,980	--
64	8,471	7,744	6,853	5,401	3,096
96	8,631	7,896	7,000	5,566	3,168
128	8,731	7,973	7,072	5,659	3,272
160	8,799	8,041	7,120	5,712	3,347
192	8,844	8,089	7,148	5,734	3,381
256	8,903	8,144	7,168	5,735	3,394
288	8,916	8,149	7,159	5,709	3,367
320	8,929	8,144	7,153	5,692	3,345
384	8,909	8,092	7,113	5,619	3,262
480	8,854	7,989	6,995	5,478	3,097
512	8,834	7,952	6,925	5,432	3,044
576	8,754	7,839	6,752	5,314	2,911
640	8,645	7,738	6,590	5,205	2,785
768	8,331	7,482	6,236	4,948	2,525
800	8,267	7,396	6,157	4,822	2,466
960	7,892	6,857	5,758	4,229	2,167
1152	7,314	6,412	5,226	3,975	2,037
1280	6,935	6,045	4,905	3,696	1,917
1440	6,531	5,625	4,567	3,359	1,778
1536	6,293	5,378	4,358	3,167	1,688
1600	6,116	5,211	4,217	3,049	1,630
1920	5,362	4,533	3,634	2,566	1,379
2304	4,624	3,879	3,070	2,166	1,176
2400	4,472	3,750	2,963	2,096	1,143
2560	4,237	3,547	2,798	1,981	1,083
2880	3,839	3,200	2,514	1,783	0,983
3200	3,504	2,912	2,284	1,624	0,902
3840	3,045	2,529	1,988	1,420	0,796
4608	2,695	2,239	1,764	1,264	0,715
4800	2,612	2,173	1,719	1,239	0,707
5760	2,341	1,947	1,541	1,116	0,644
6400	2,206	1,835	1,454	1,053	0,606
7200	2,085	1,739	1,382	1,006	0,583
7680	2,030	1,695	1,350	0,983	0,569

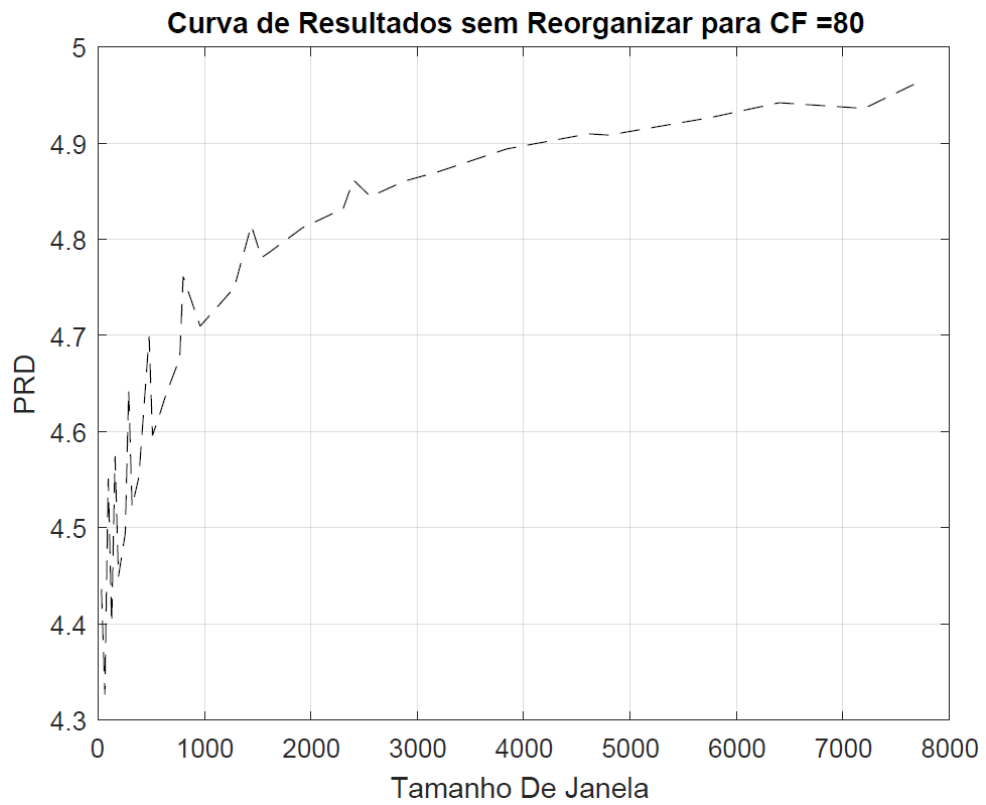
APÊNDICE XI: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%



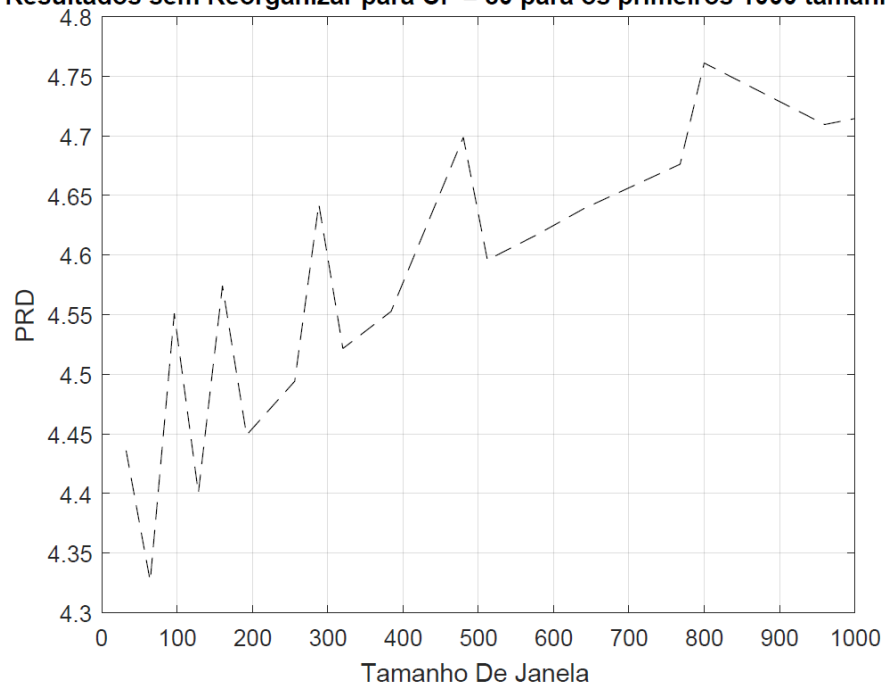
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



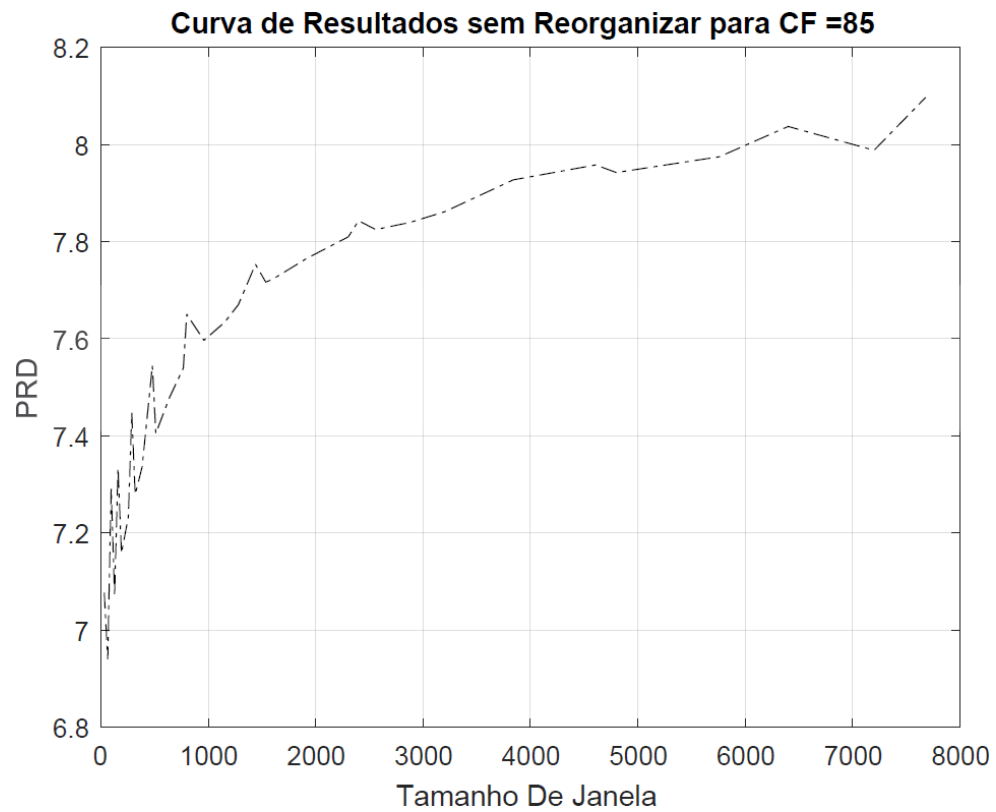
APÊNDICE XII: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 80%



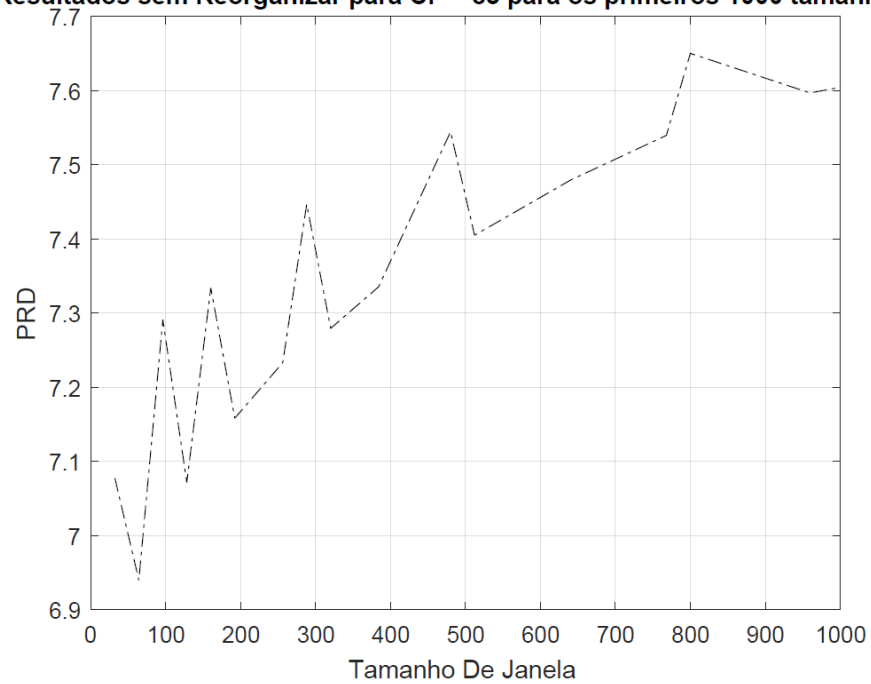
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



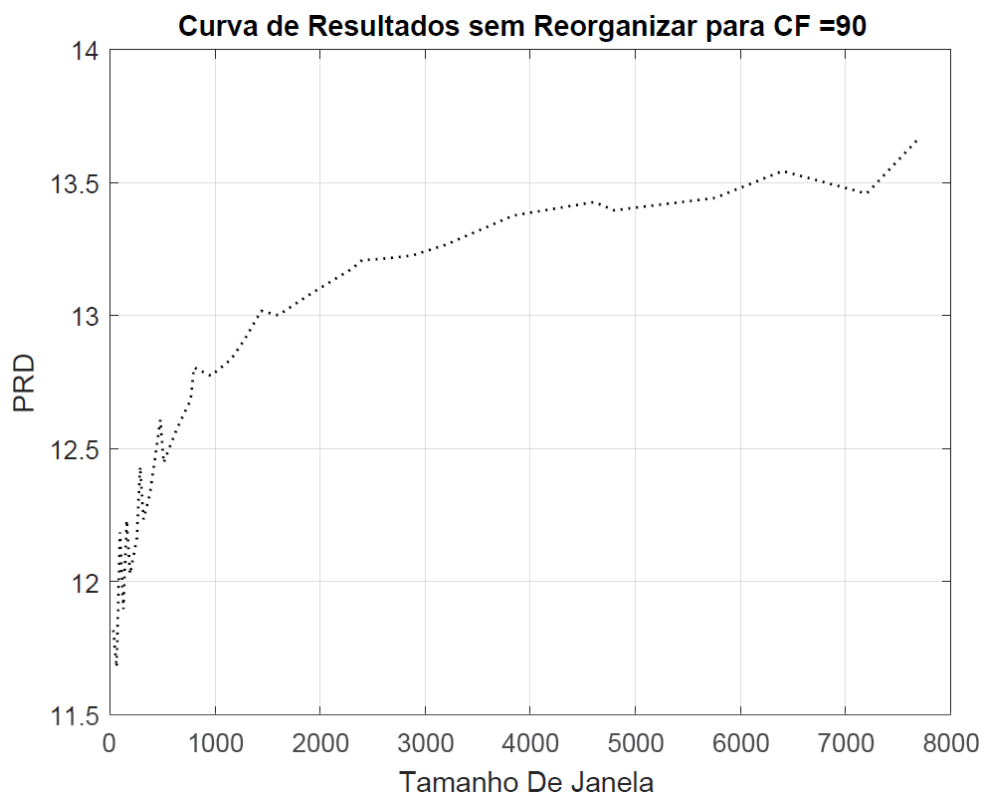
APÊNDICE XIII: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 85%



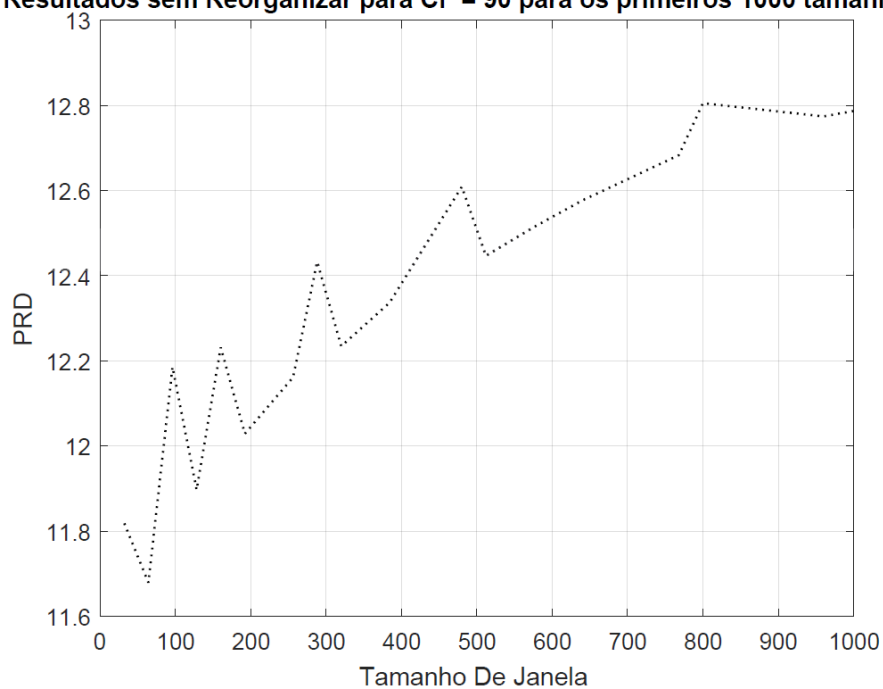
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



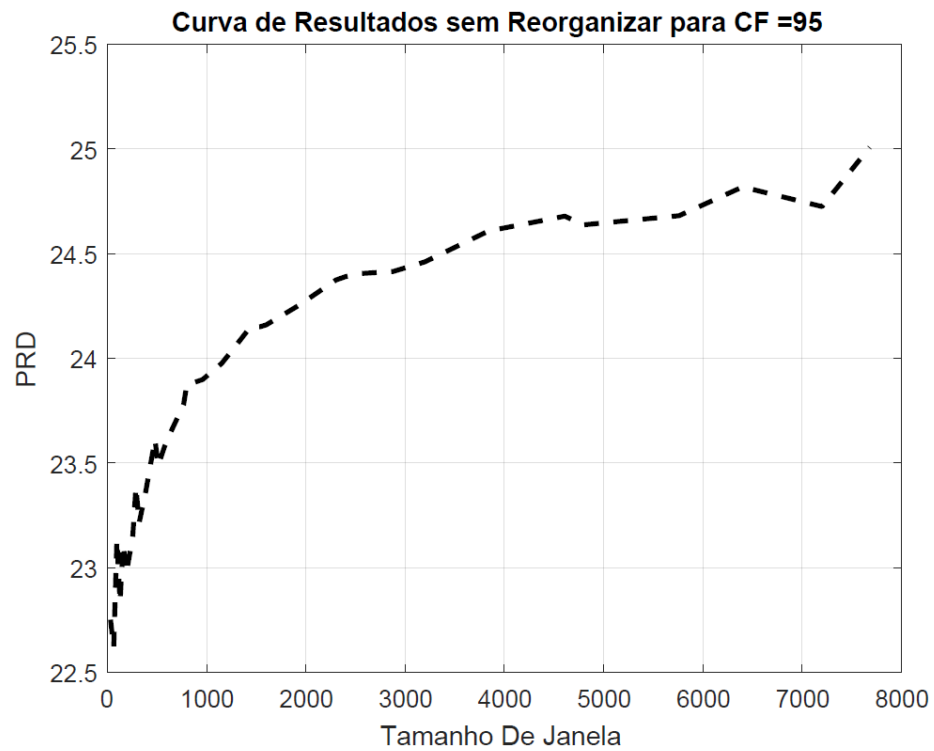
APÊNDICE XIV: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 90%



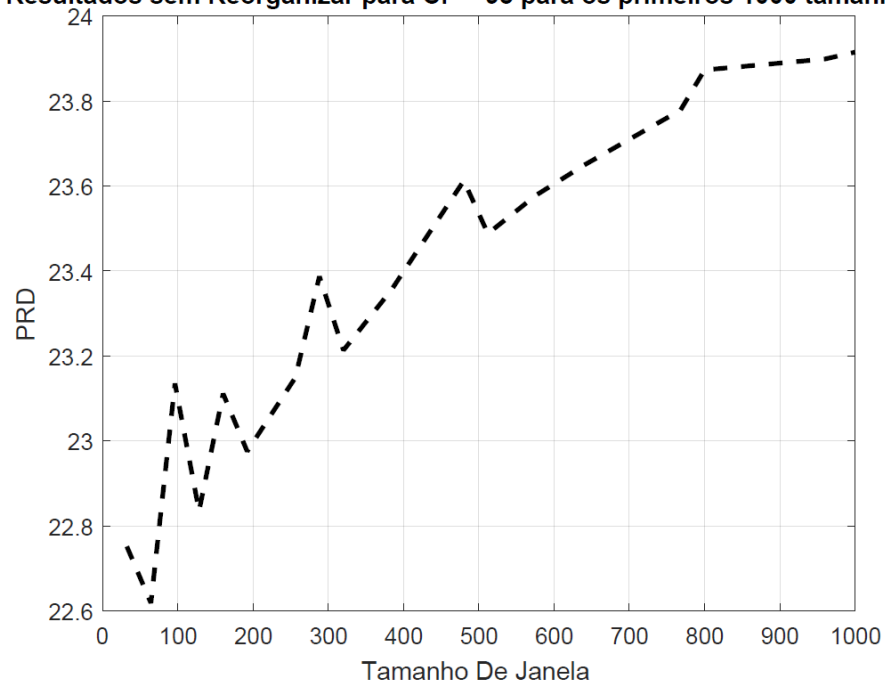
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



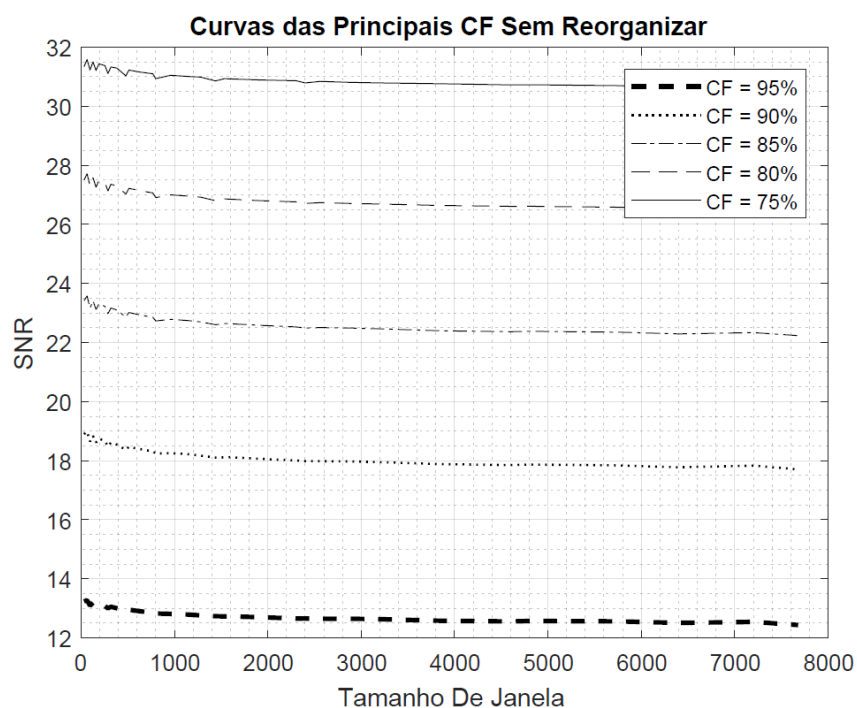
APÊNDICE XV: PRD para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 95%



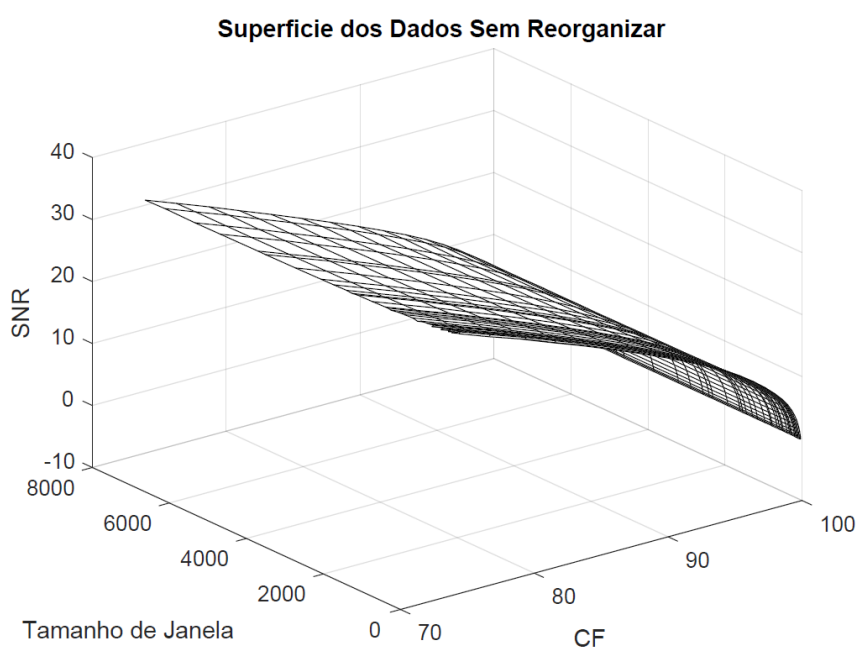
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



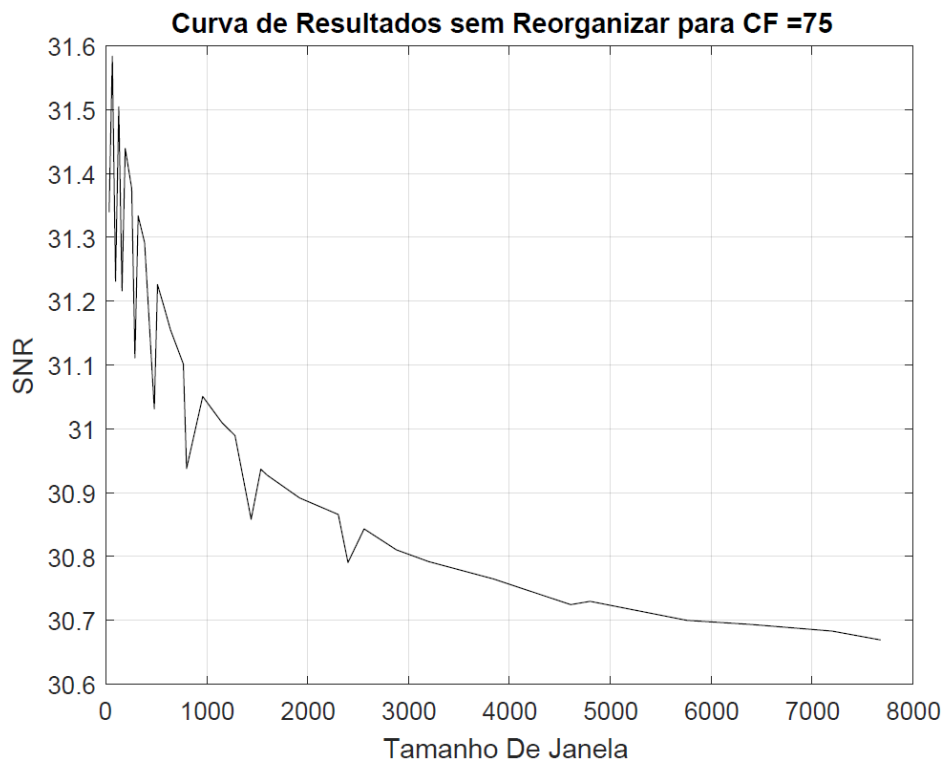
APÊNDICE XVI: Principais valores de CF usando HEVC, sem reorganização, com os valores da SNR.



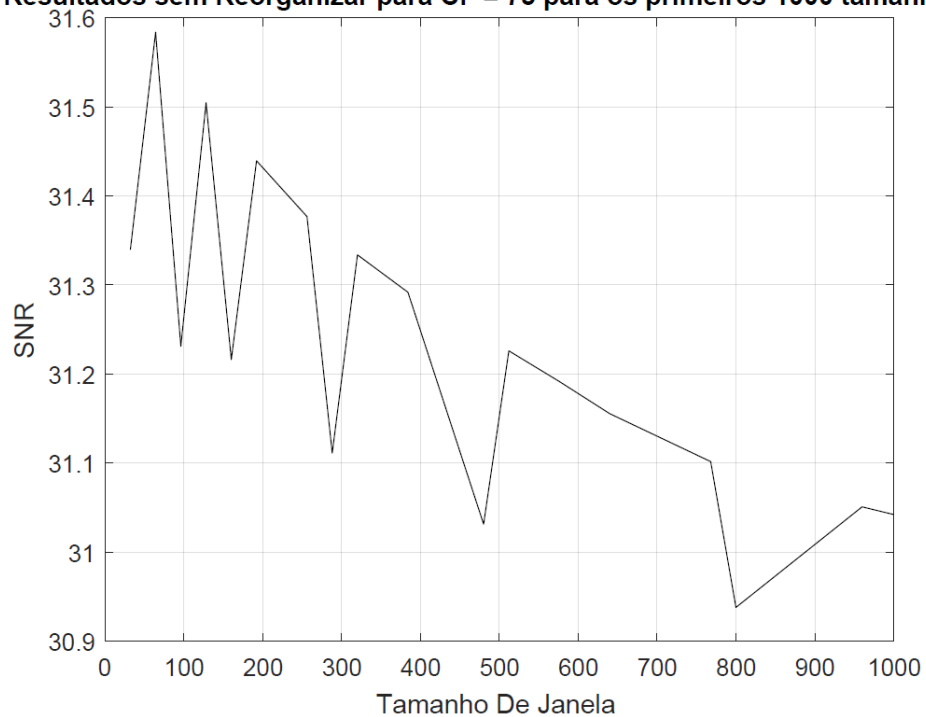
APÊNDICE XVII: Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, sem reorganização, com os valores da SNR



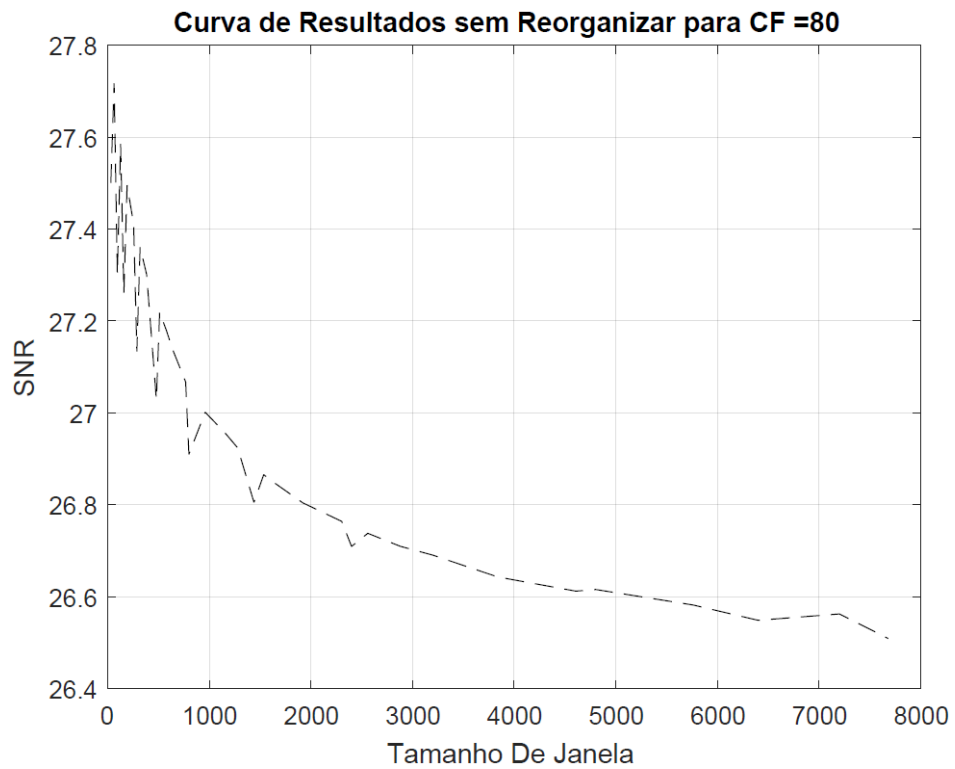
APÊNDICE XVIII: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 75%



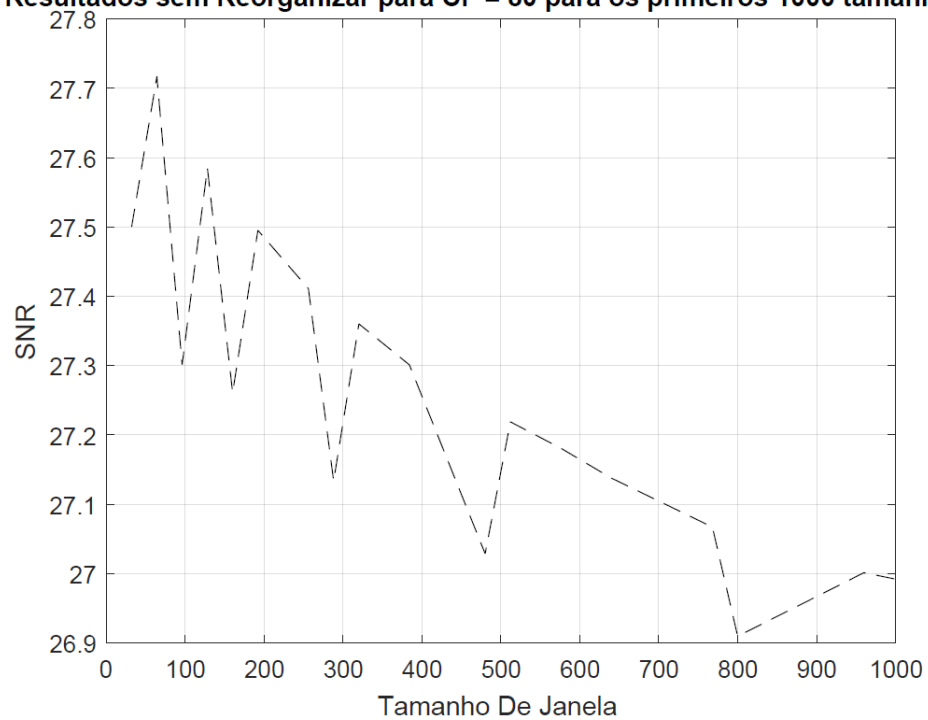
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



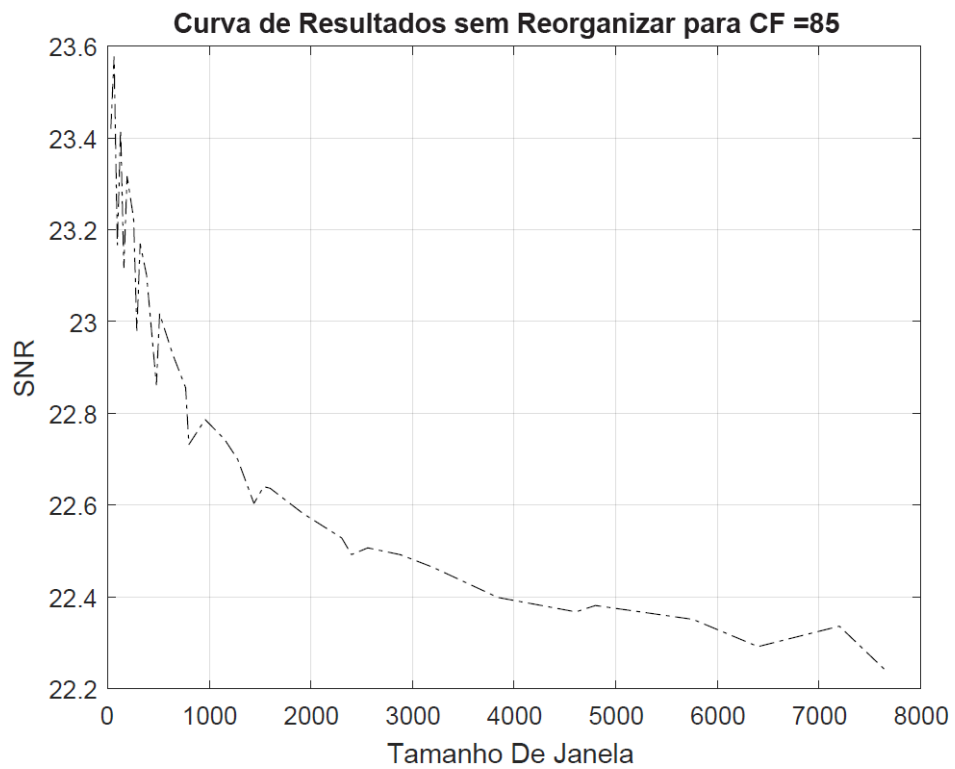
APÊNDICE XIX: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 80%



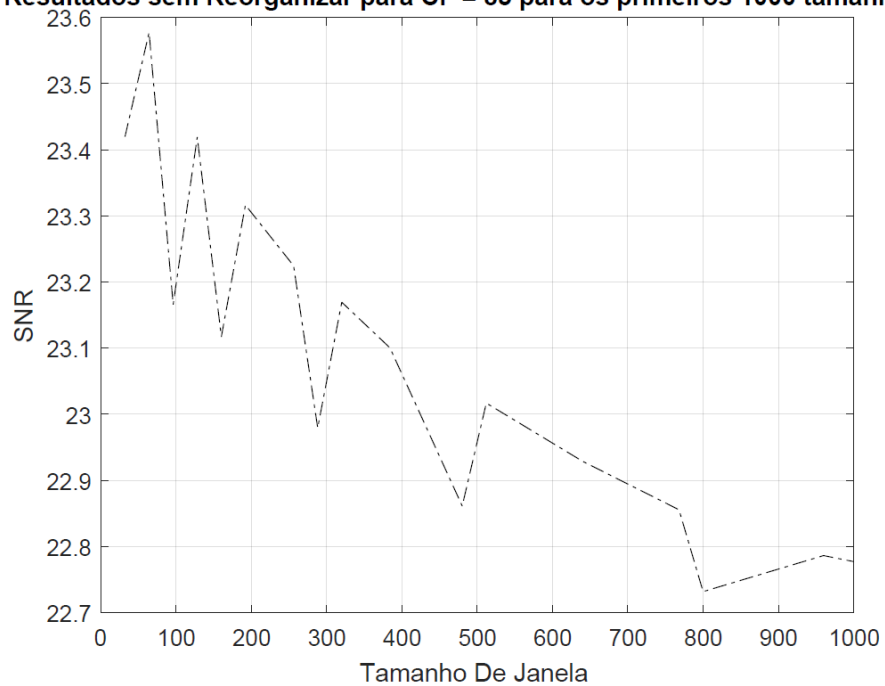
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



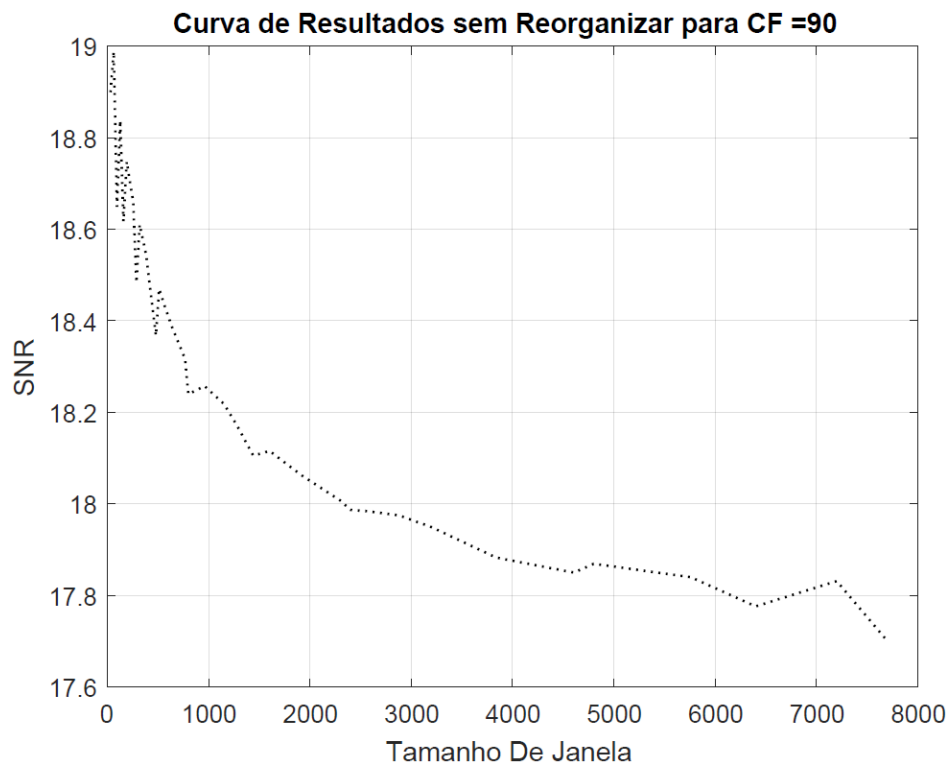
APÊNDICE XX: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 85%



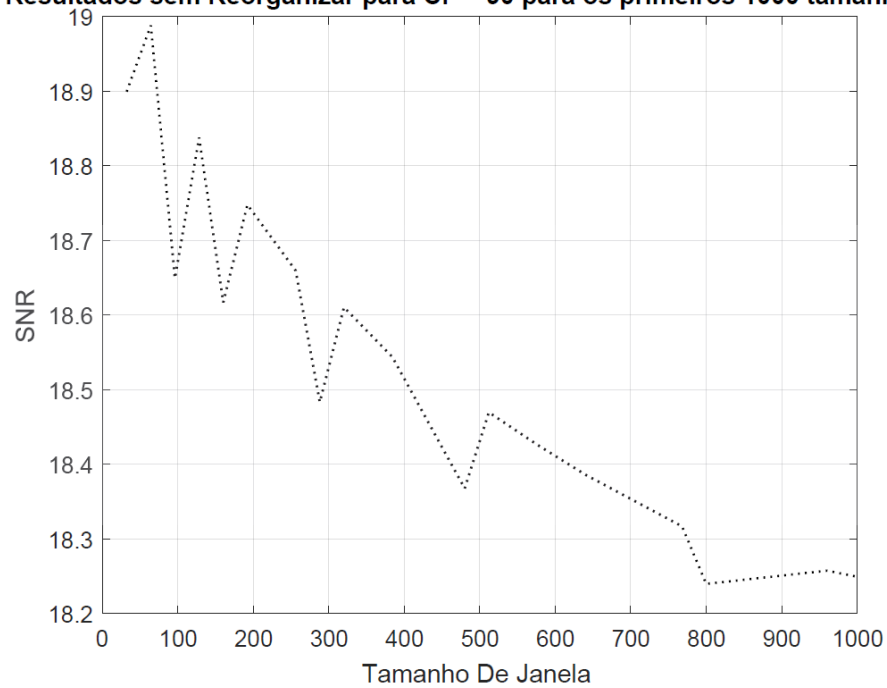
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



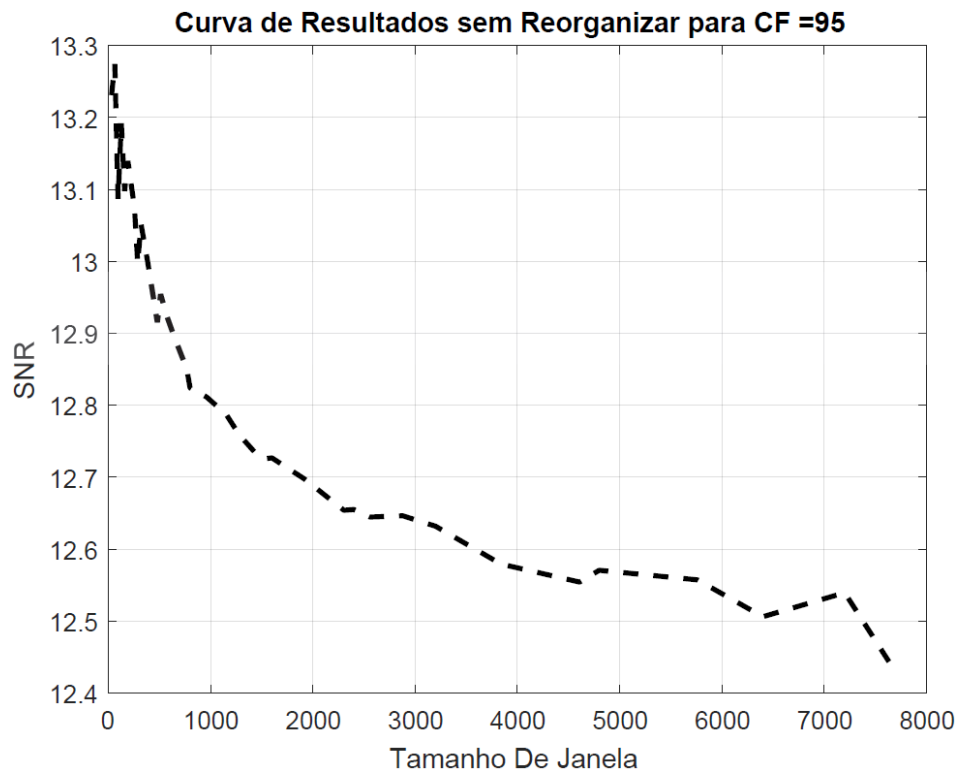
APÊNDICE XXI: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 90%



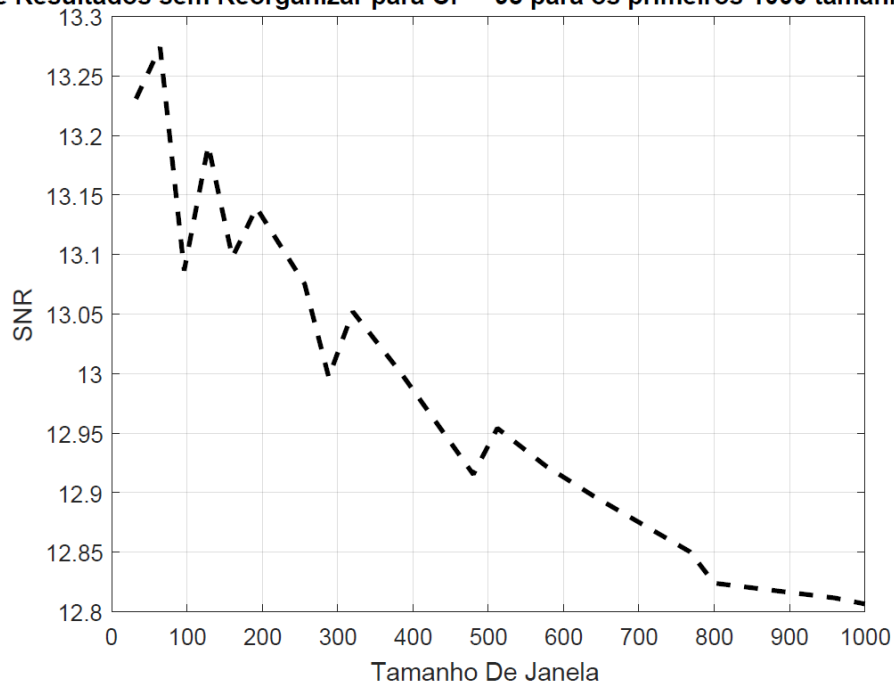
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



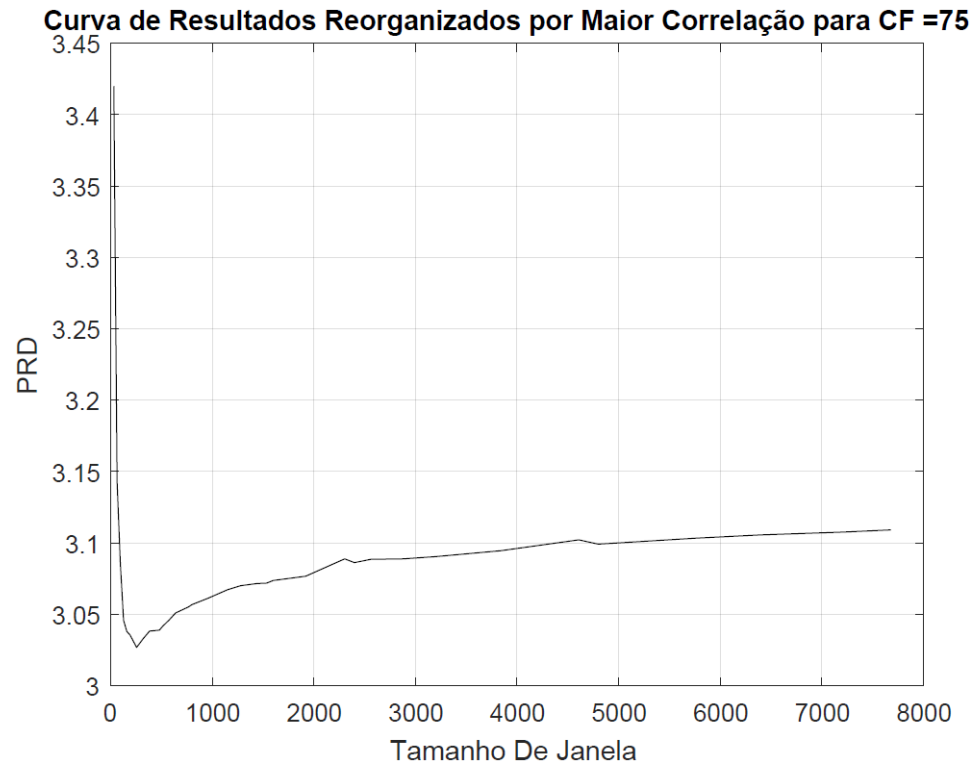
APÊNDICE XXII: SNR para compressão usando HEVC, sem reorganização, para os valores de CF: 95%



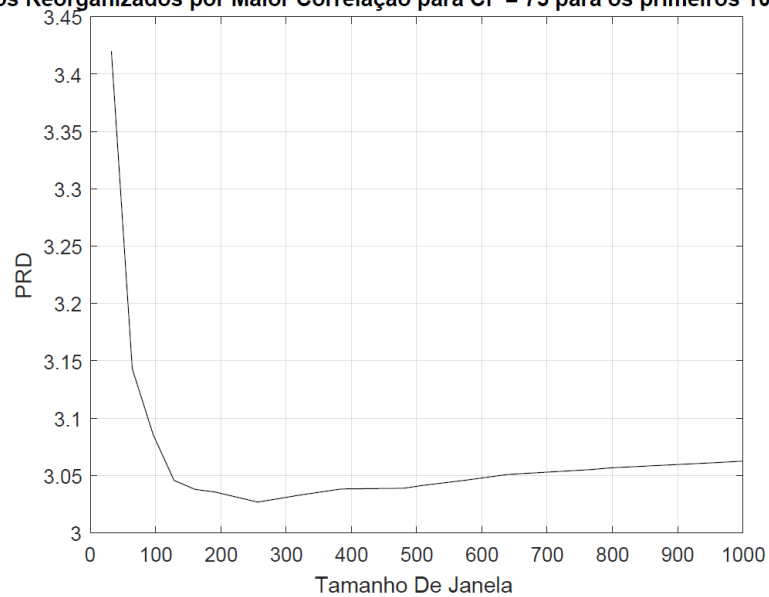
Curva de Resultados sem Reorganizar para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



APÊNDICE XXIII: PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 75%

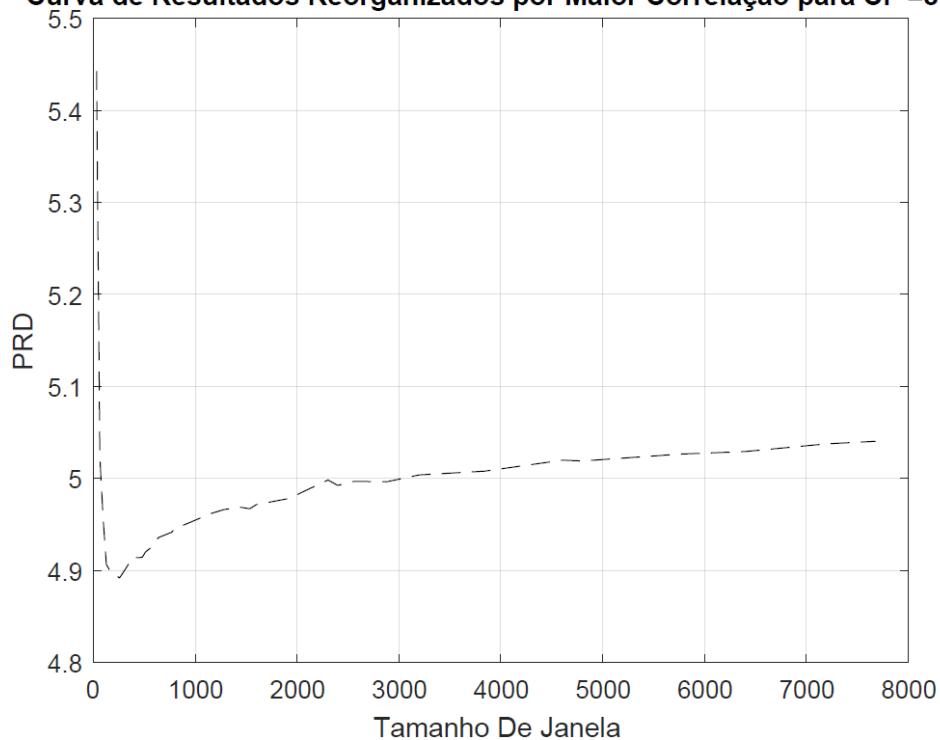


Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela

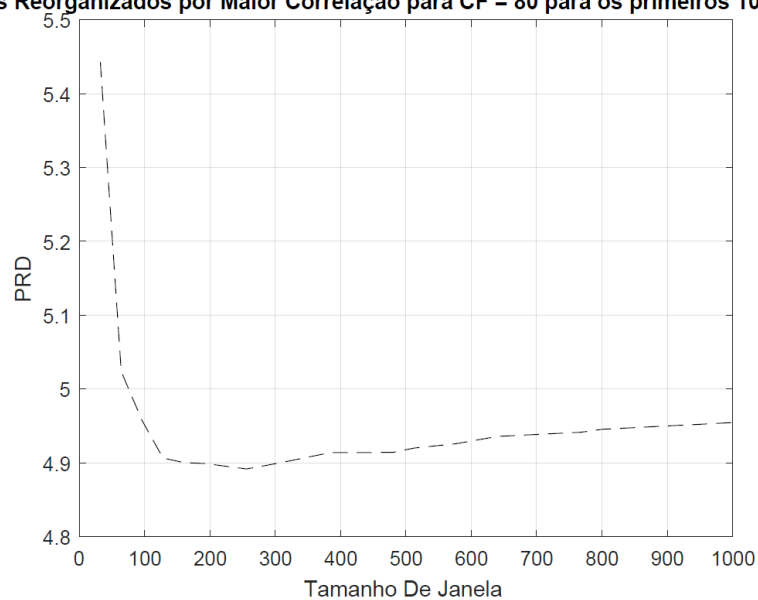


APÊNDICE XXIV: PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 80%

Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF =80

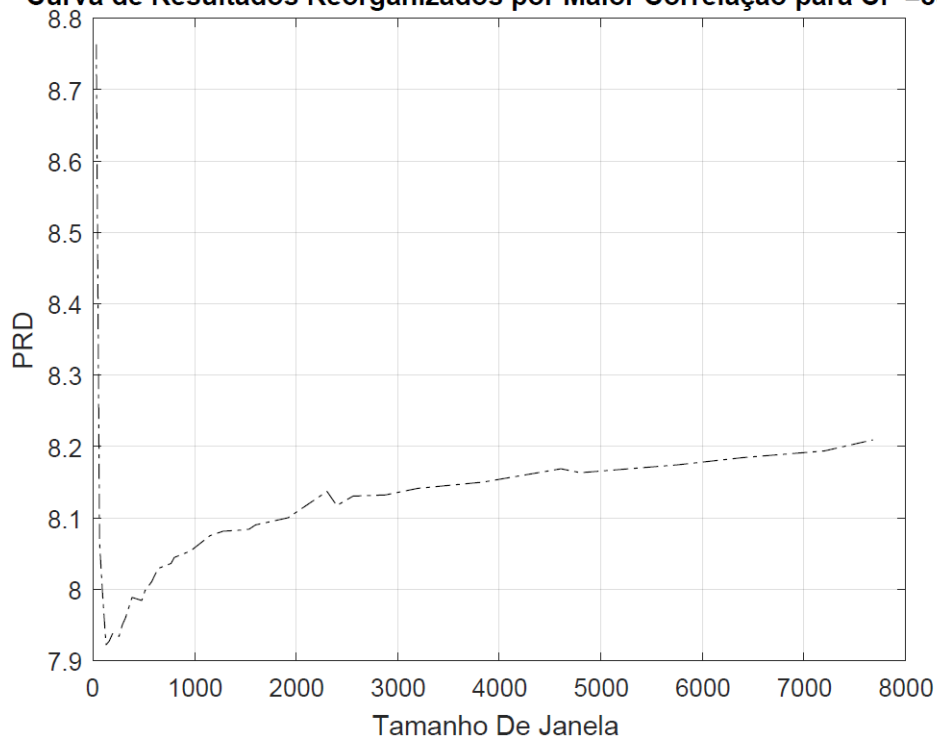


Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela

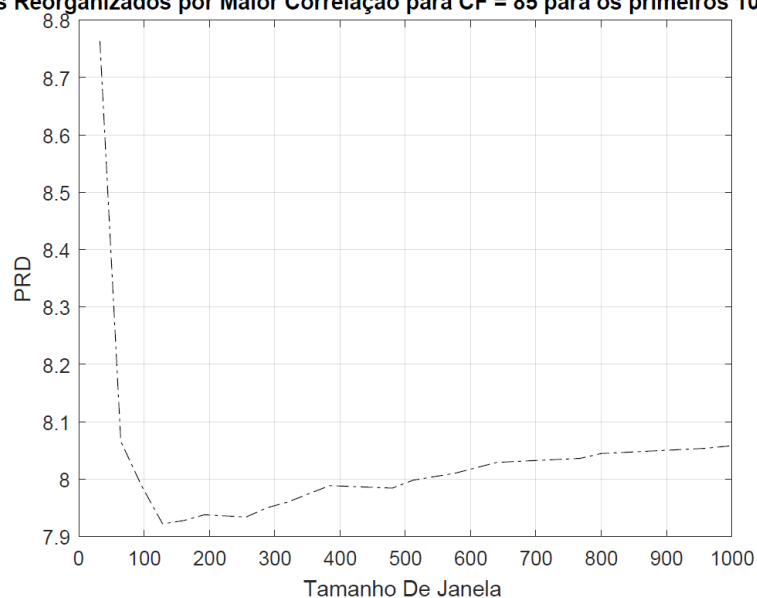


APÊNDICE XXV: PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 85%

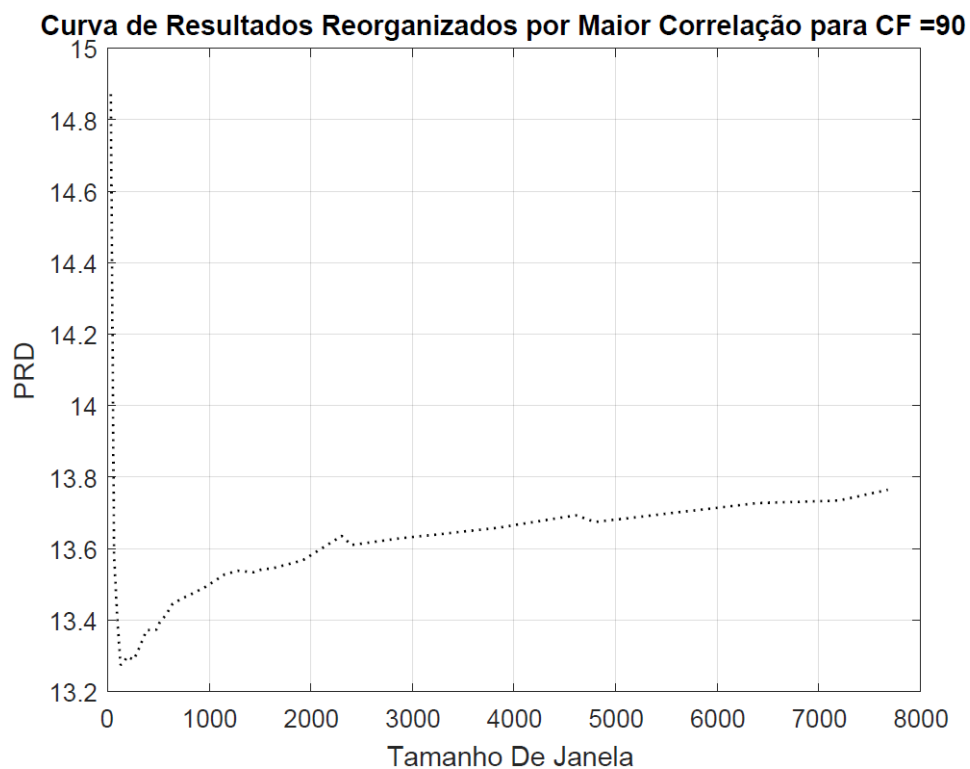
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF =85



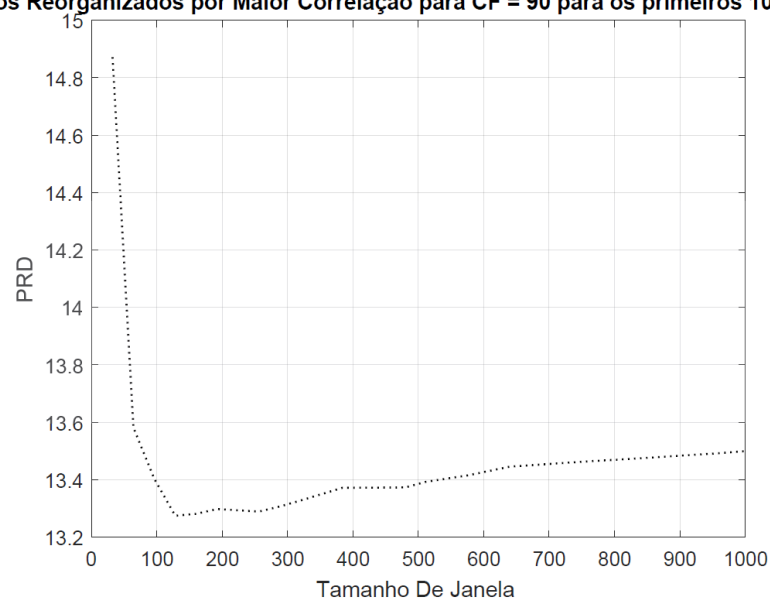
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



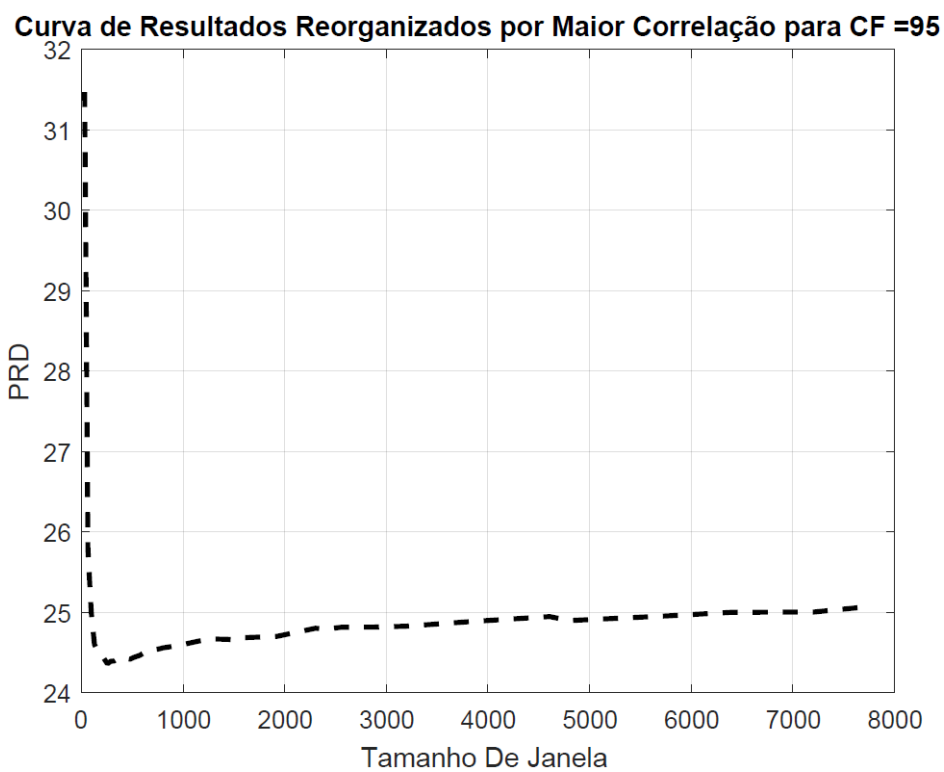
APÊNDICE XXVI: PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação, para os valores de CF: 90%



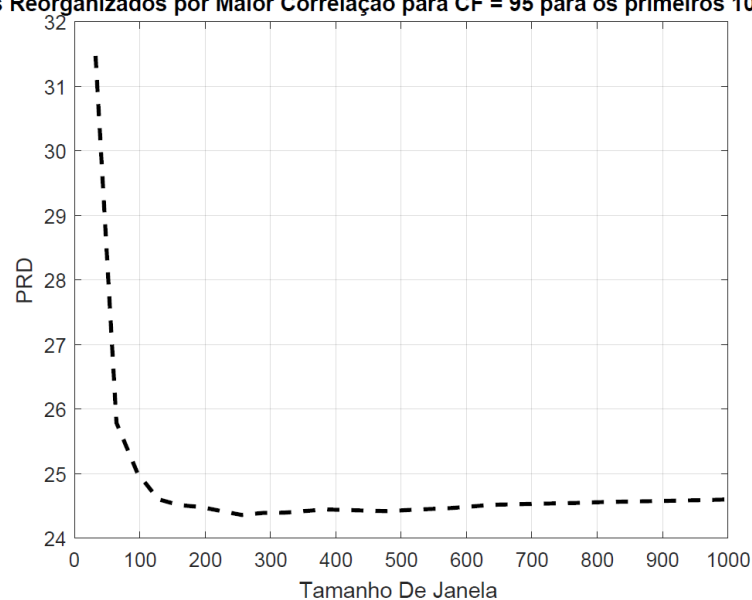
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



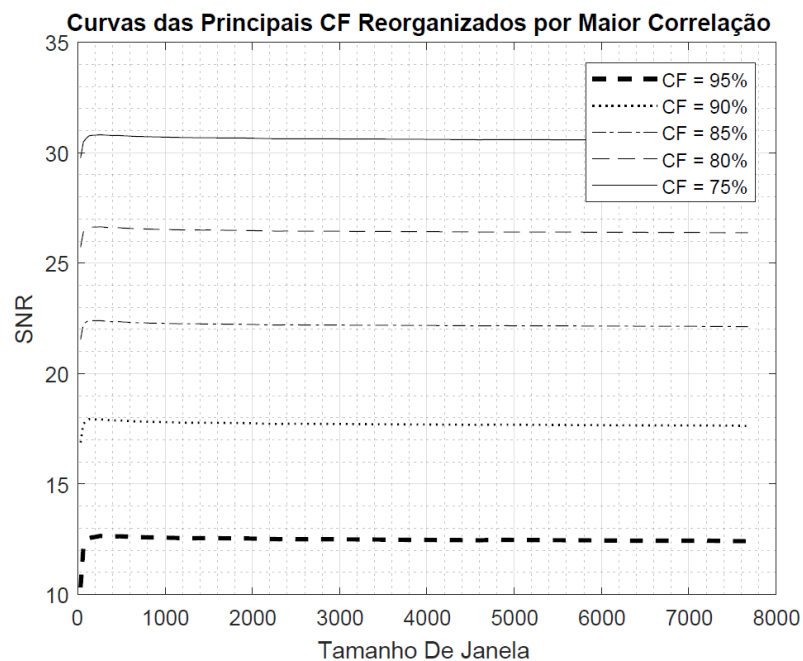
APÊNDICE XXVII: PRD para compressão usando HEVC, para reorganização por Maior Correlação para os valores de CF: 95%



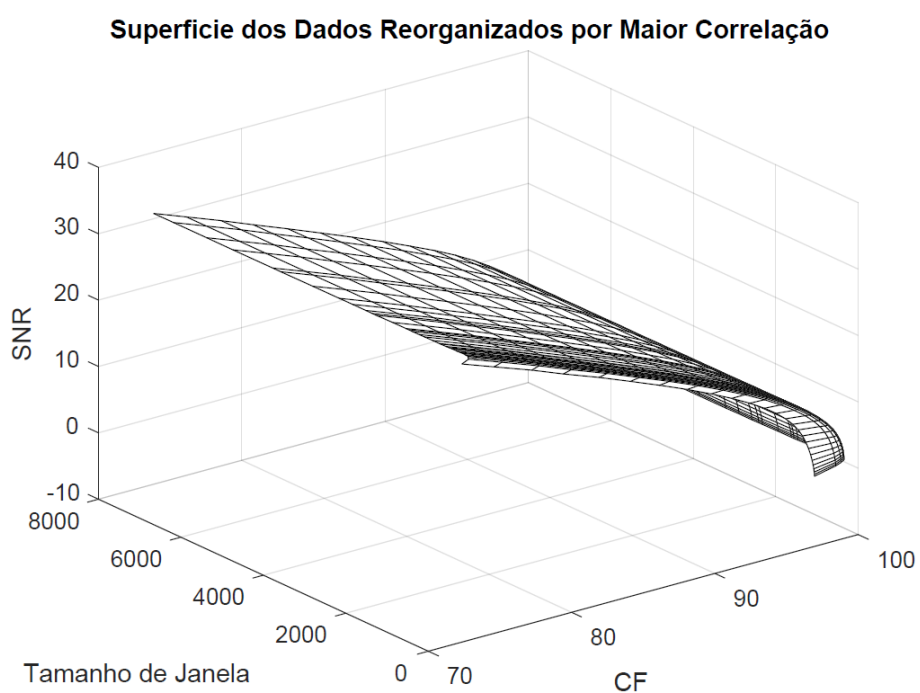
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



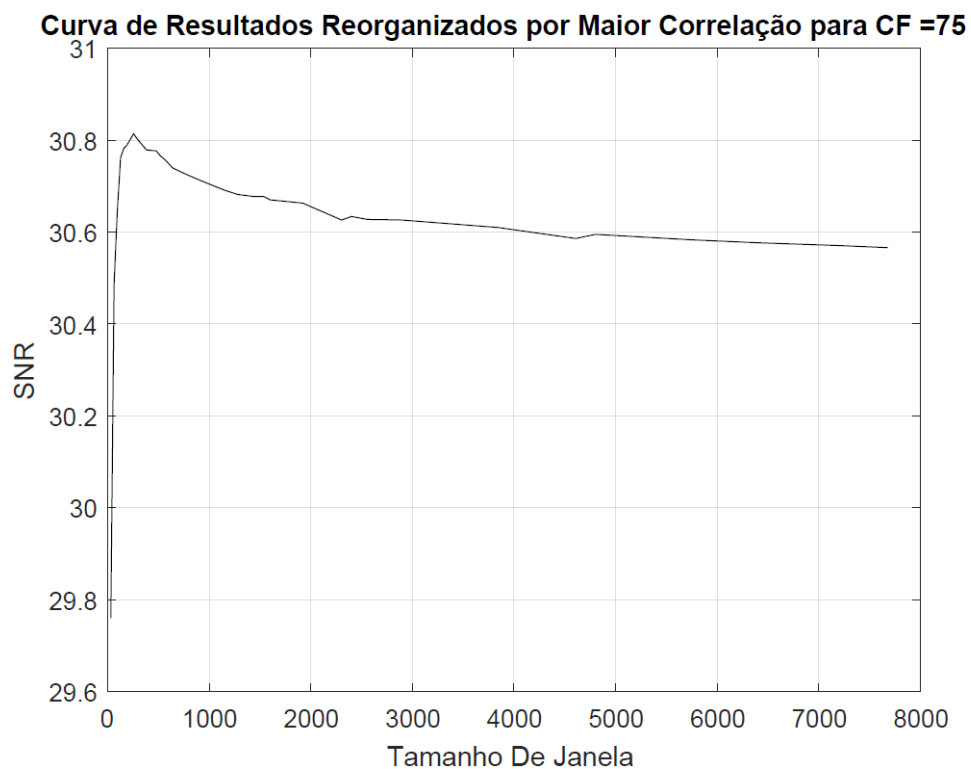
APÊNDICE XXVIII: Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Maior Correlação com os valores da SNR



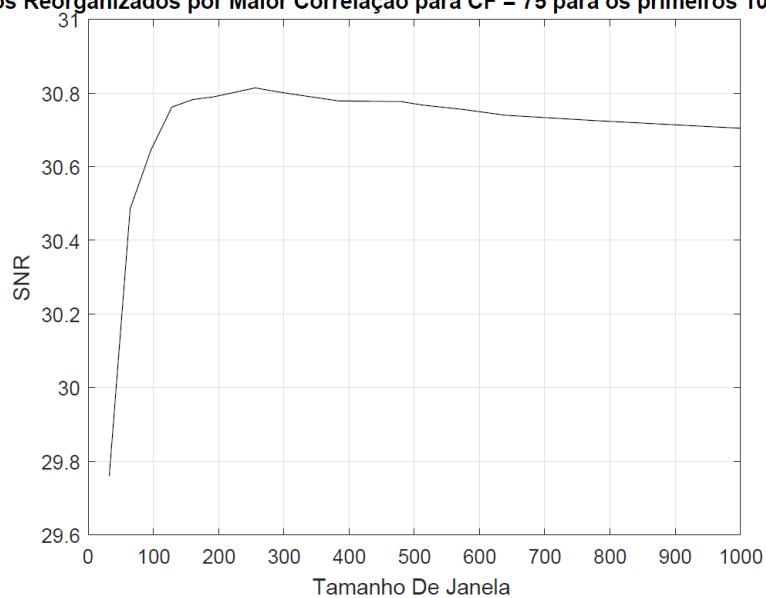
APÊNDICE XXIX: Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, com os valores da SNR



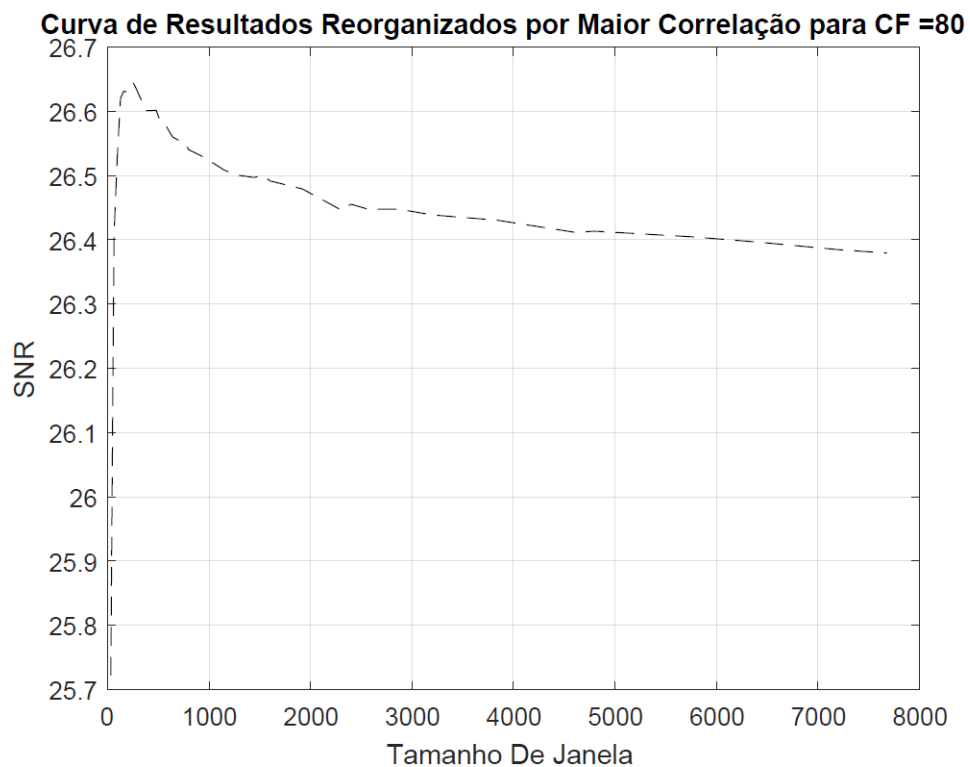
APÊNDICE XXX: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 75%



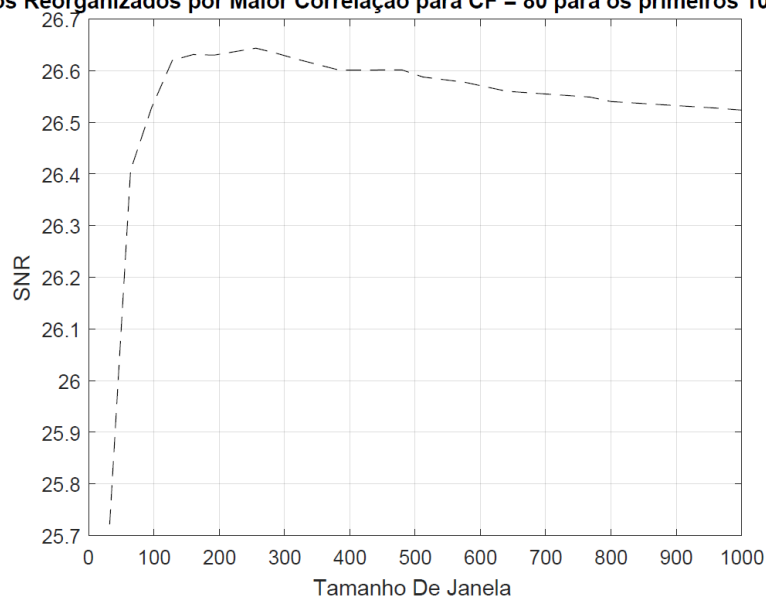
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



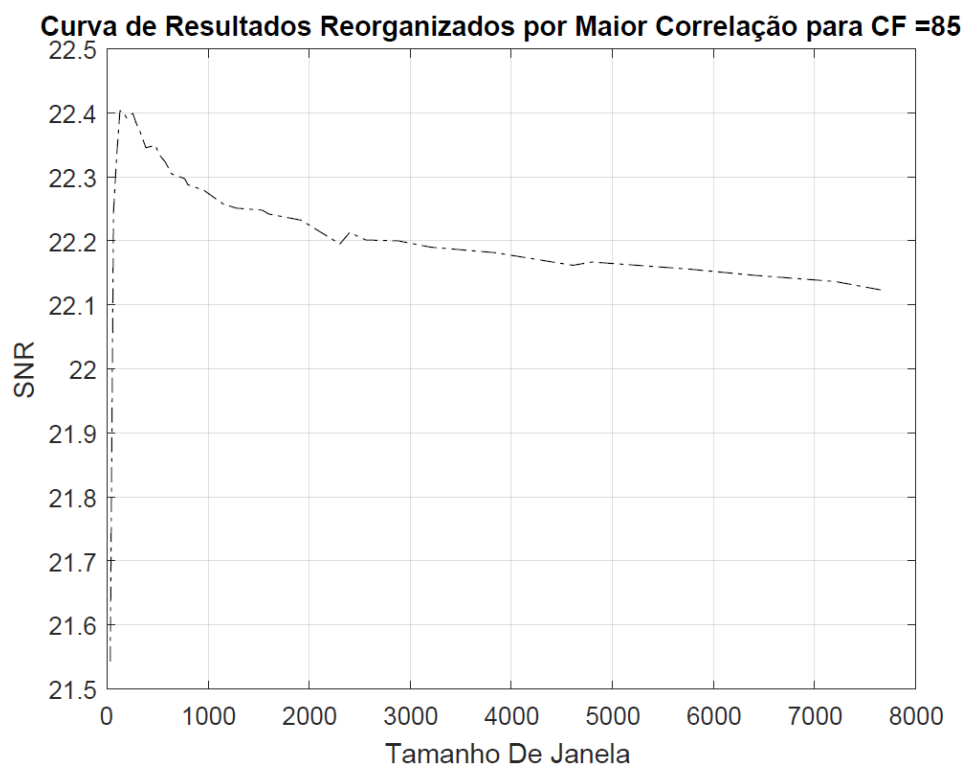
APÊNDICE XXXI: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 80%



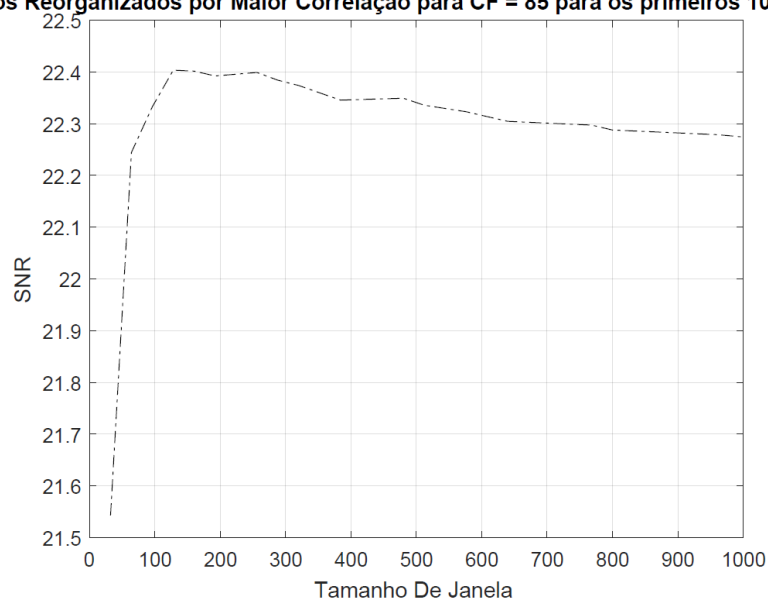
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



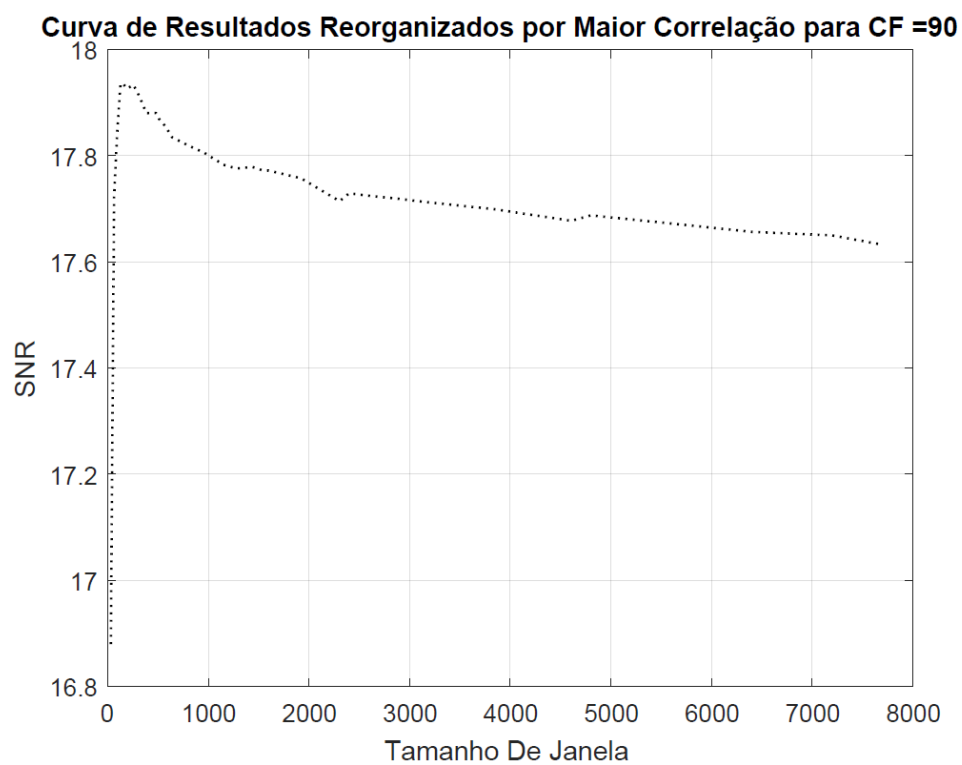
APÊNDICE XXXII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 85%



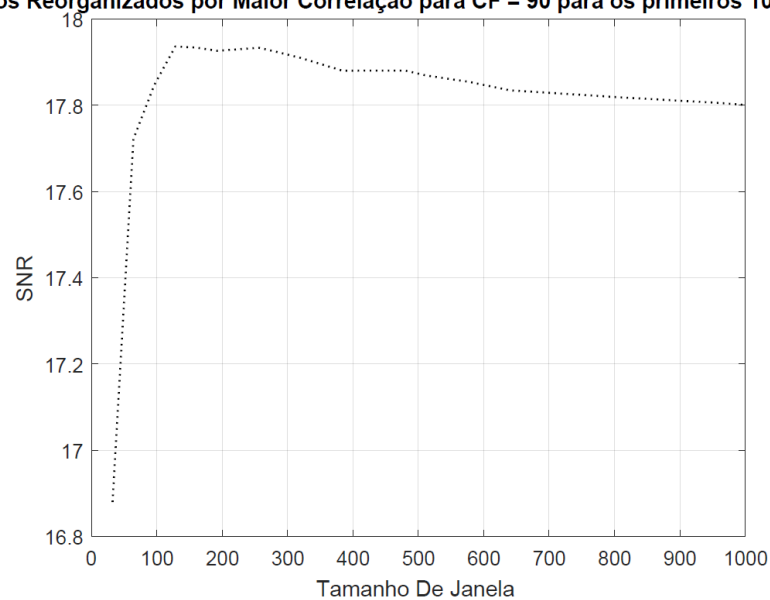
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



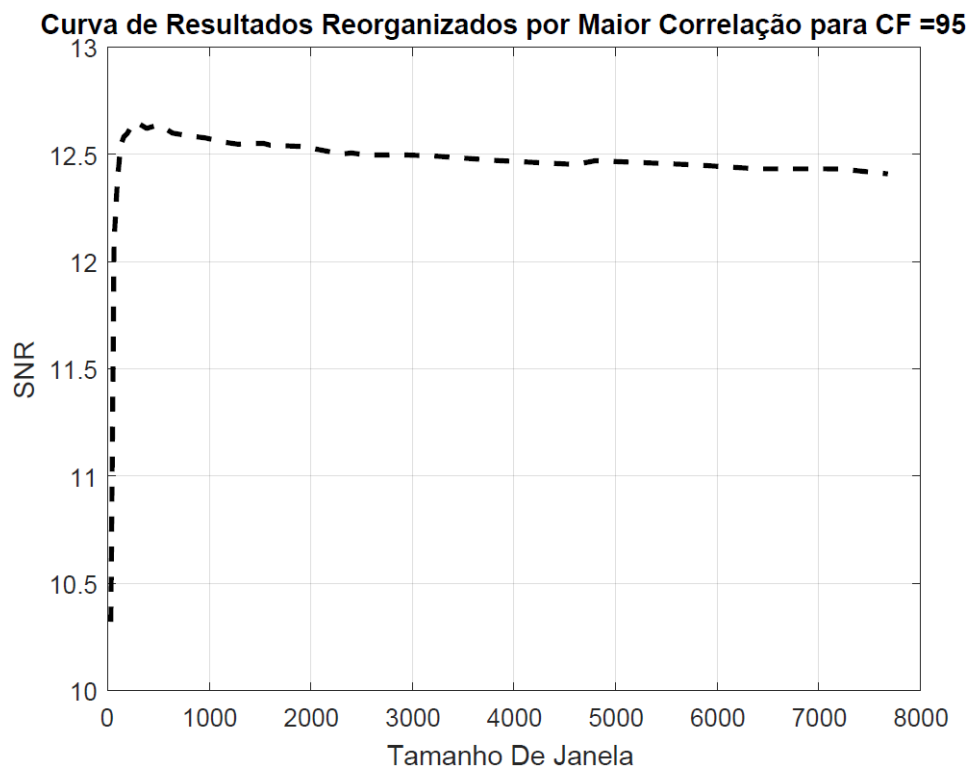
APÊNDICE XXXIII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por maior correlação, para os valores de CF: 90%



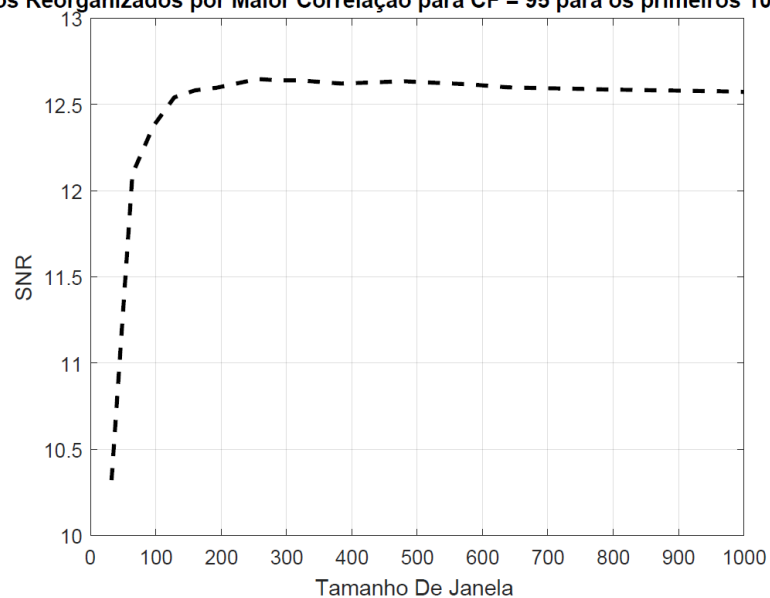
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



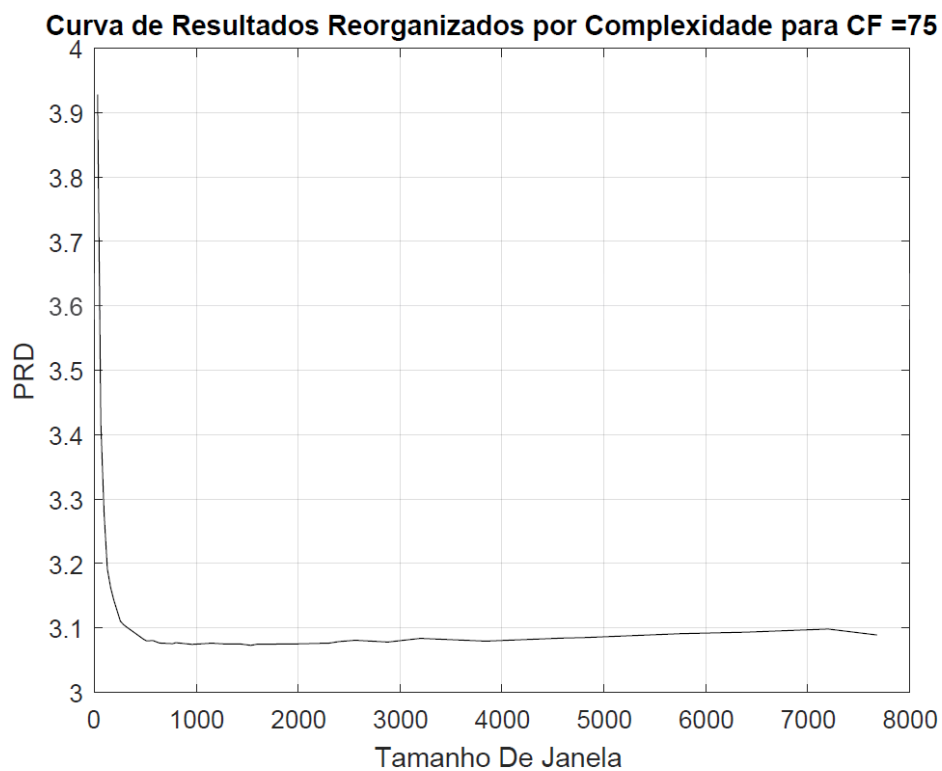
APÊNDICE XXXIV: SNR para compressão usando HEVC reorganizado por maior correlação para os valores de CF: 95%



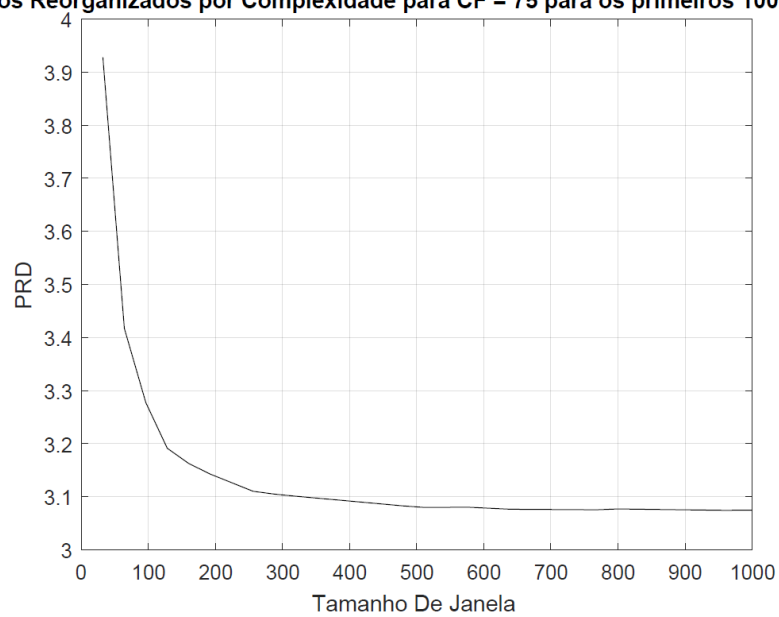
Curva de Resultados Reorganizados por Maior Correlação para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



APÊNDICE XXXV: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade para os valores de CF: 75%



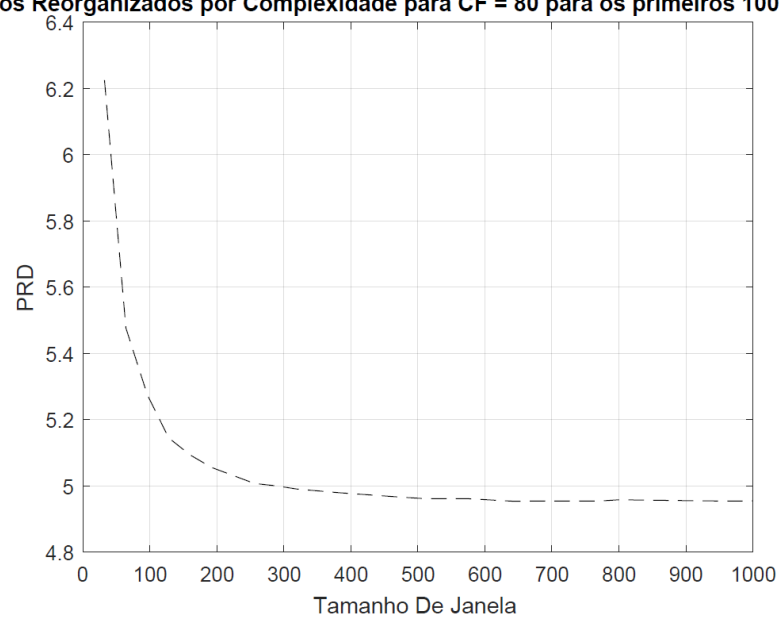
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



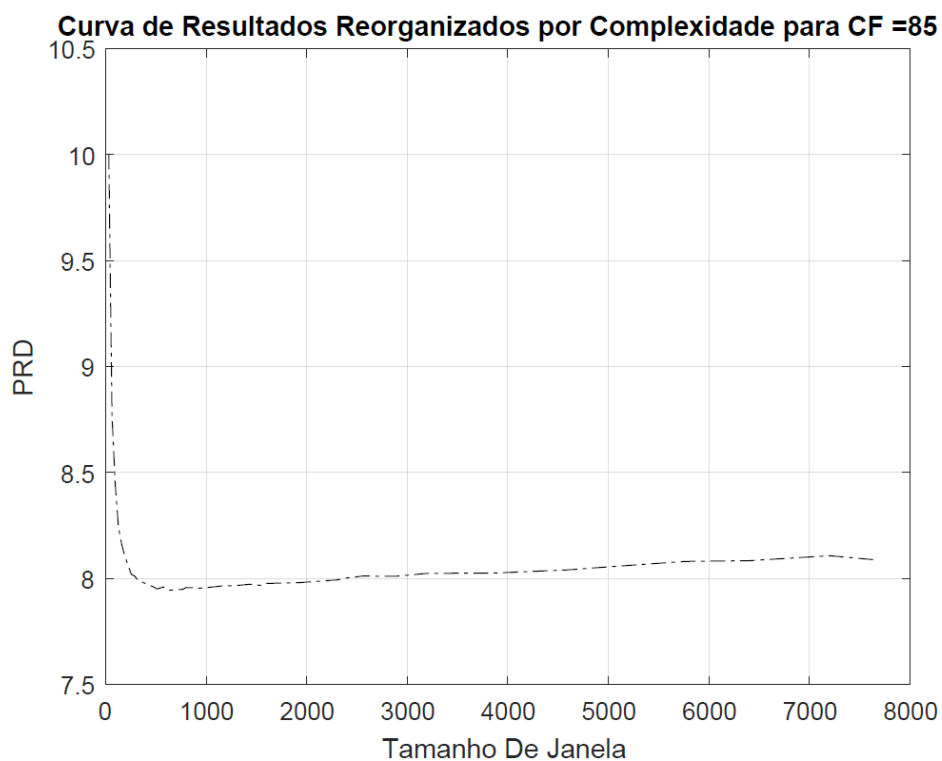
APÊNDICE XXXVI: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade para os valores de CF: 80%



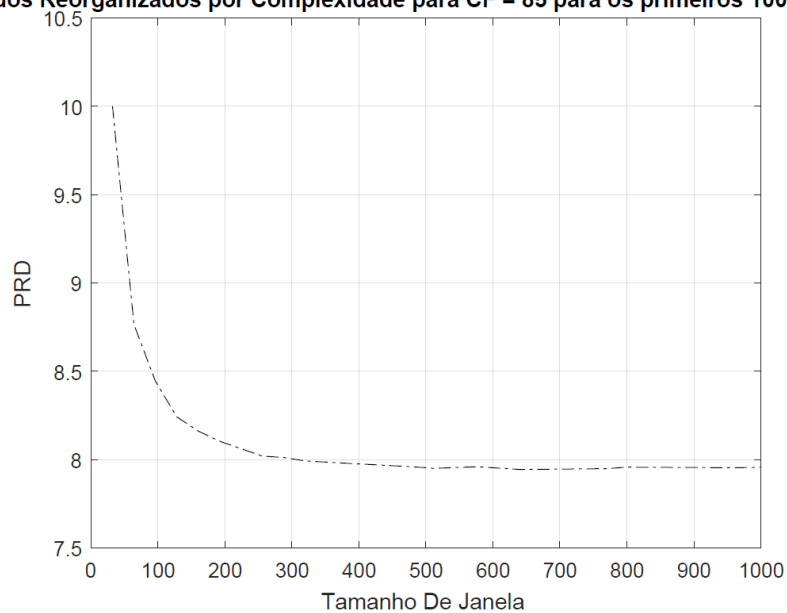
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



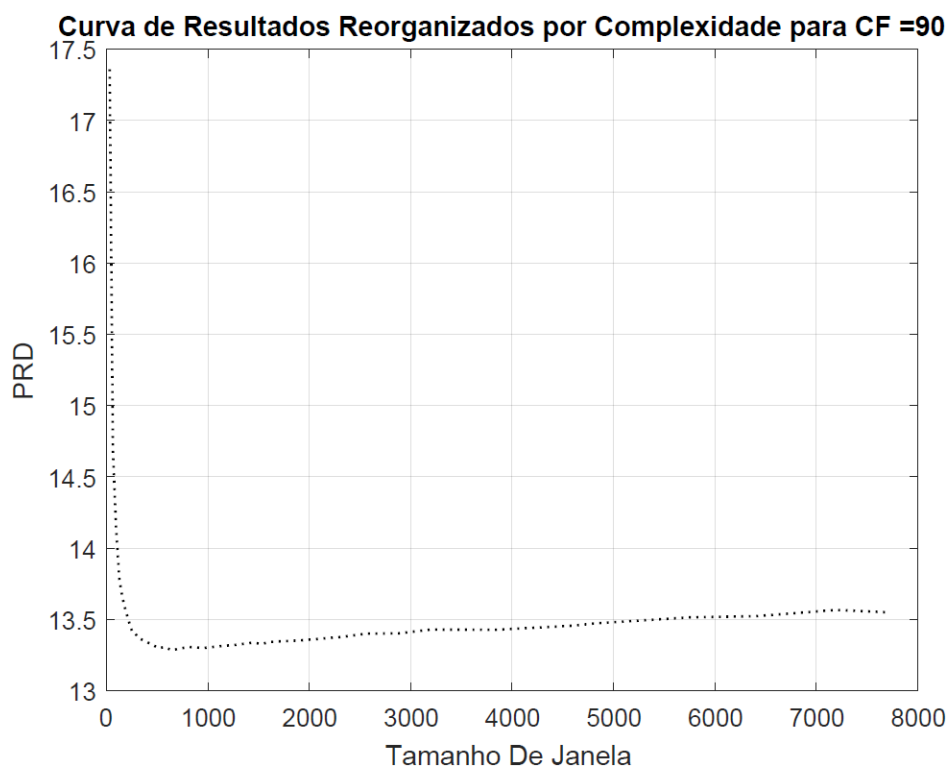
APÊNDICE XXXVII PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 85%



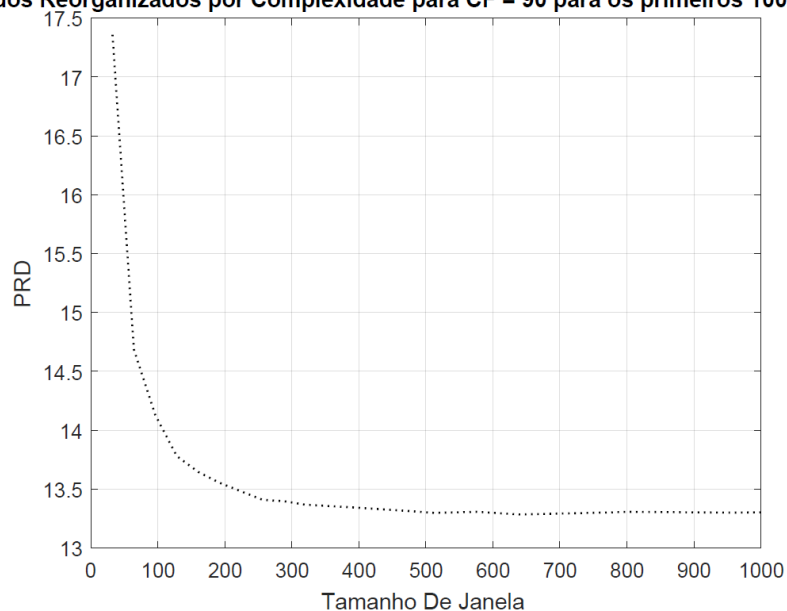
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



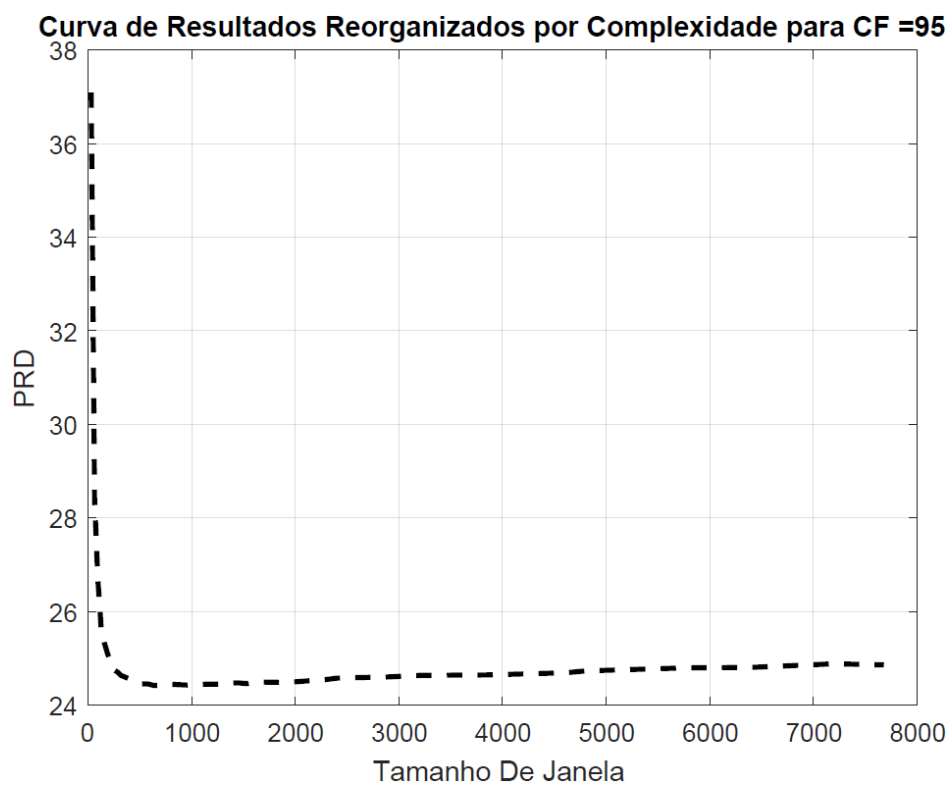
APÊNDICE XXXVIII: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 90%



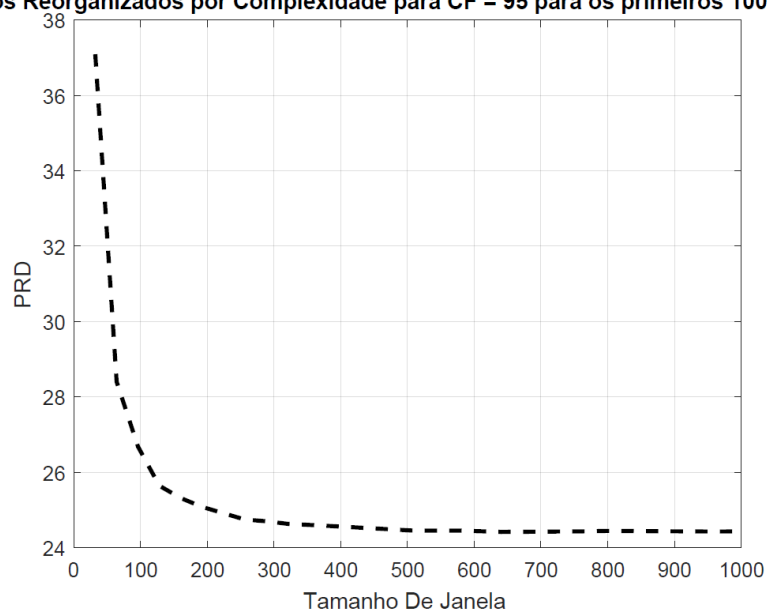
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



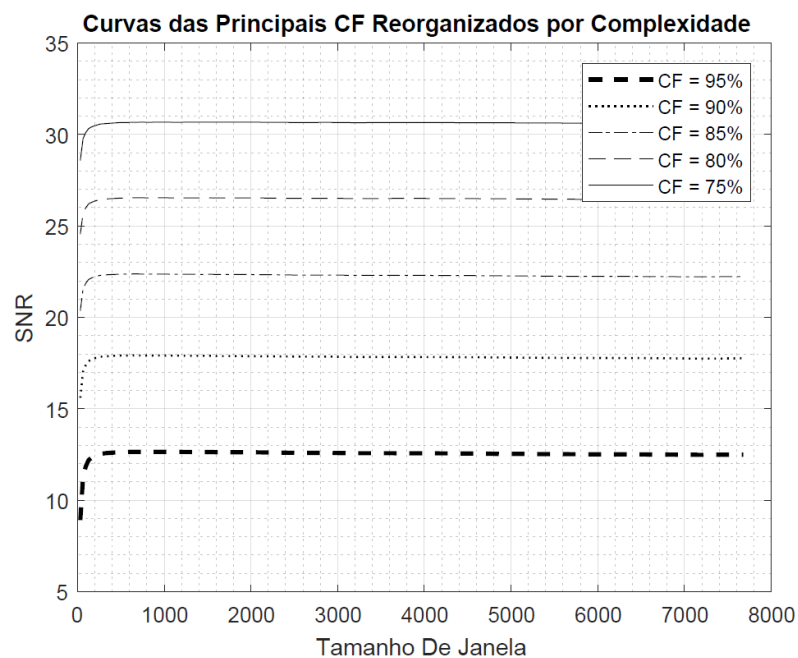
APÊNDICE XXXIX: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 95%



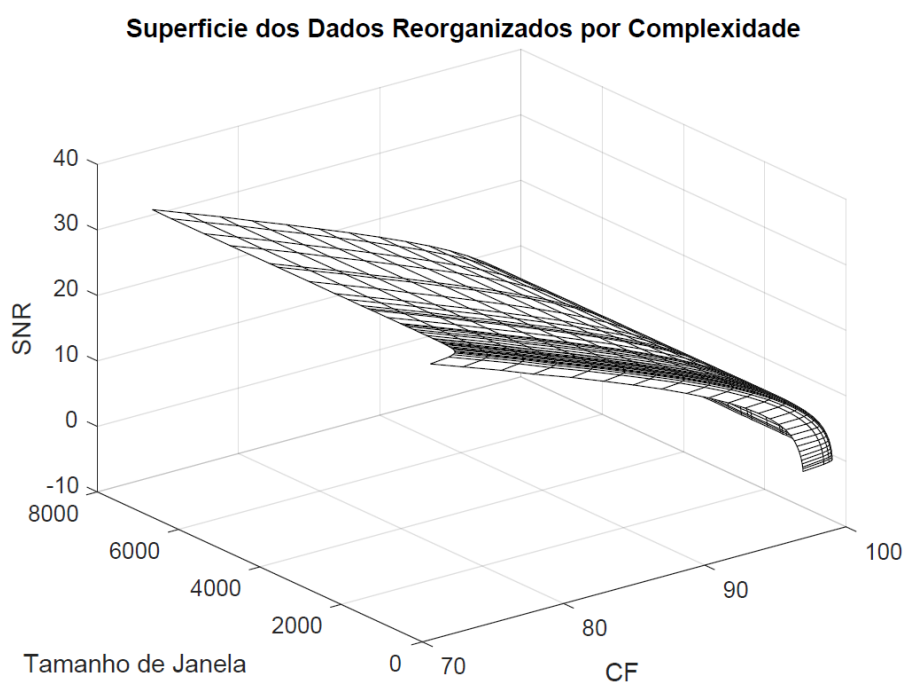
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



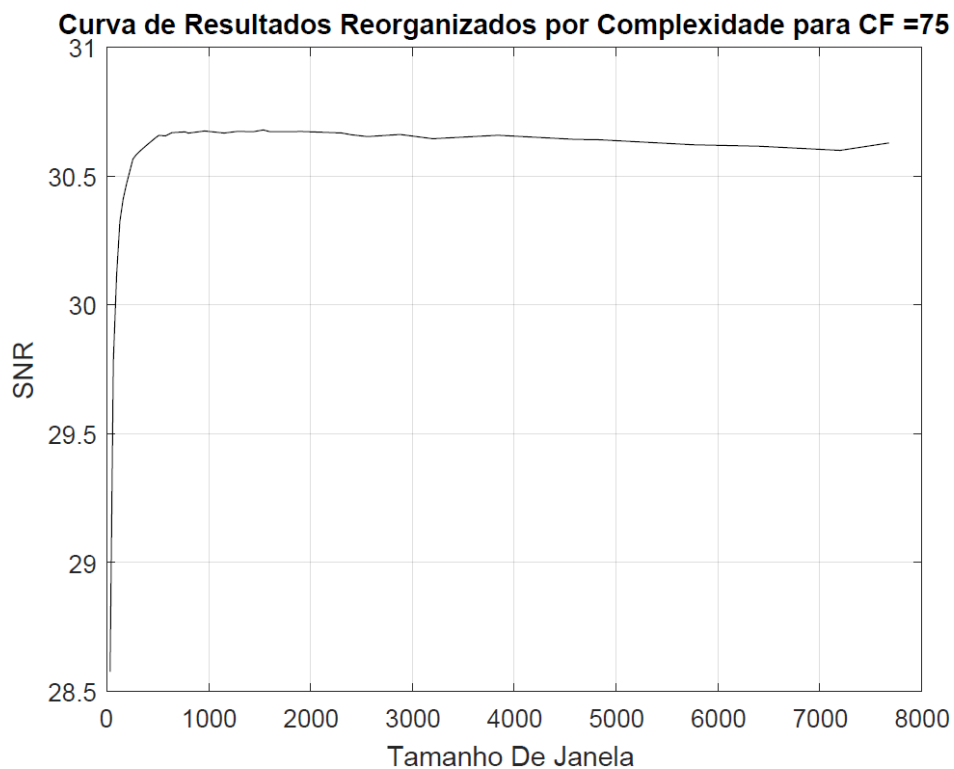
APÊNDICE XL: Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Complexidade com os valores da SNR



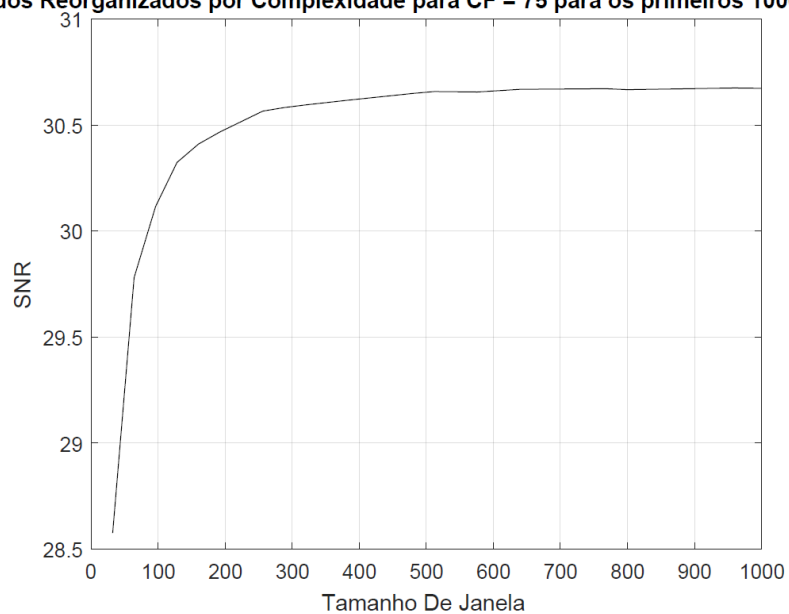
APÊNDICE XLI: Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, com os valores da SNR



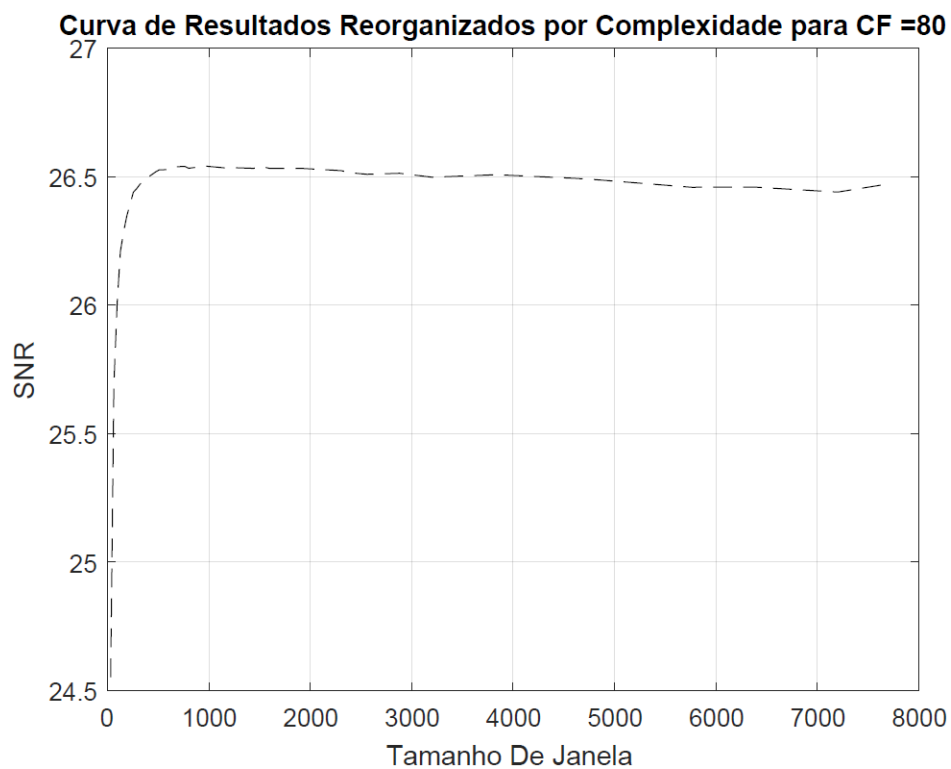
APÊNDICE XLII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 75%



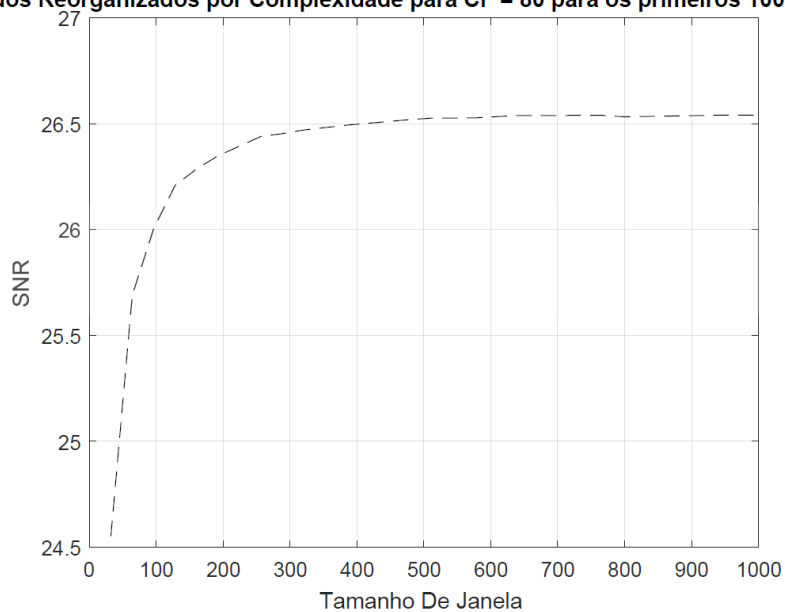
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



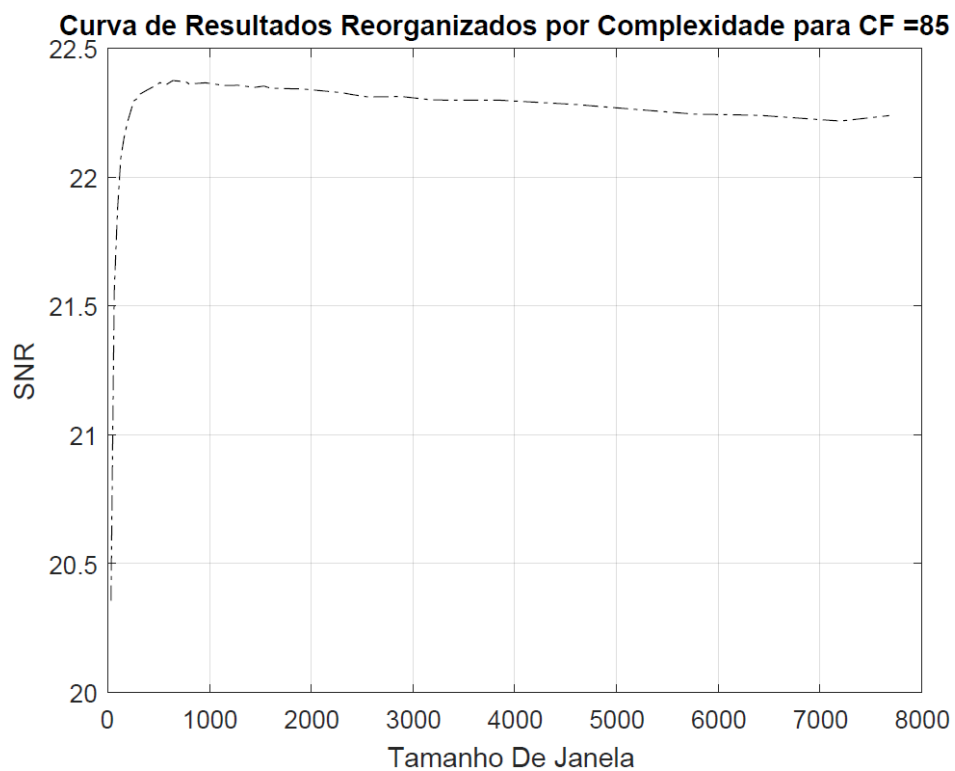
APÊNDICE XLIII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 80%



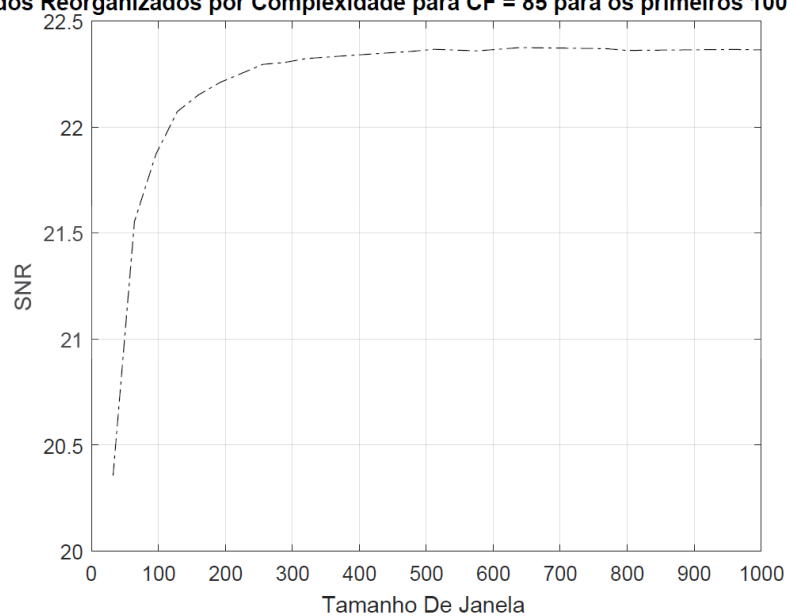
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



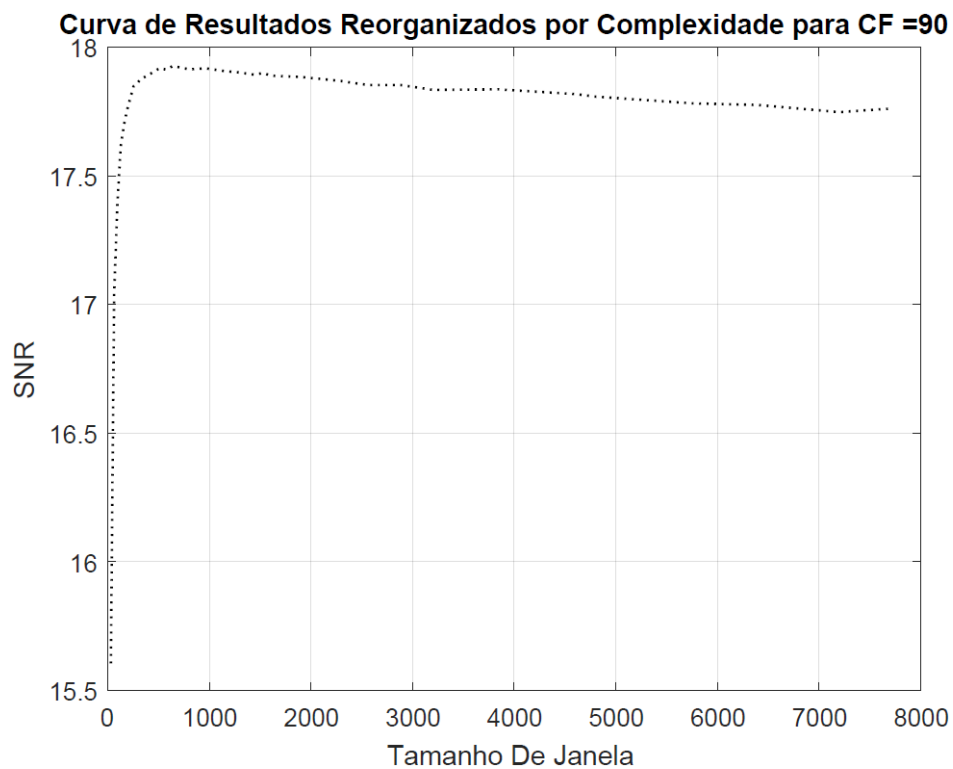
APÊNDICE XLIV: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 85%



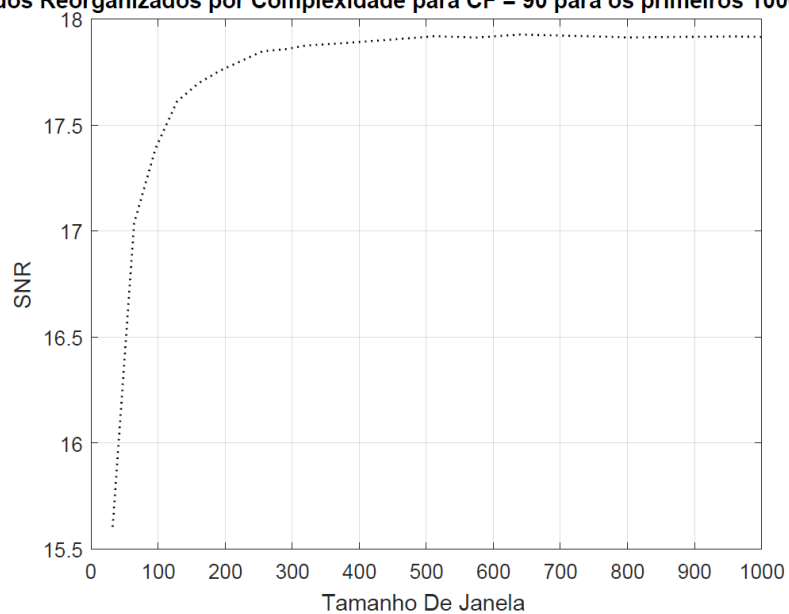
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



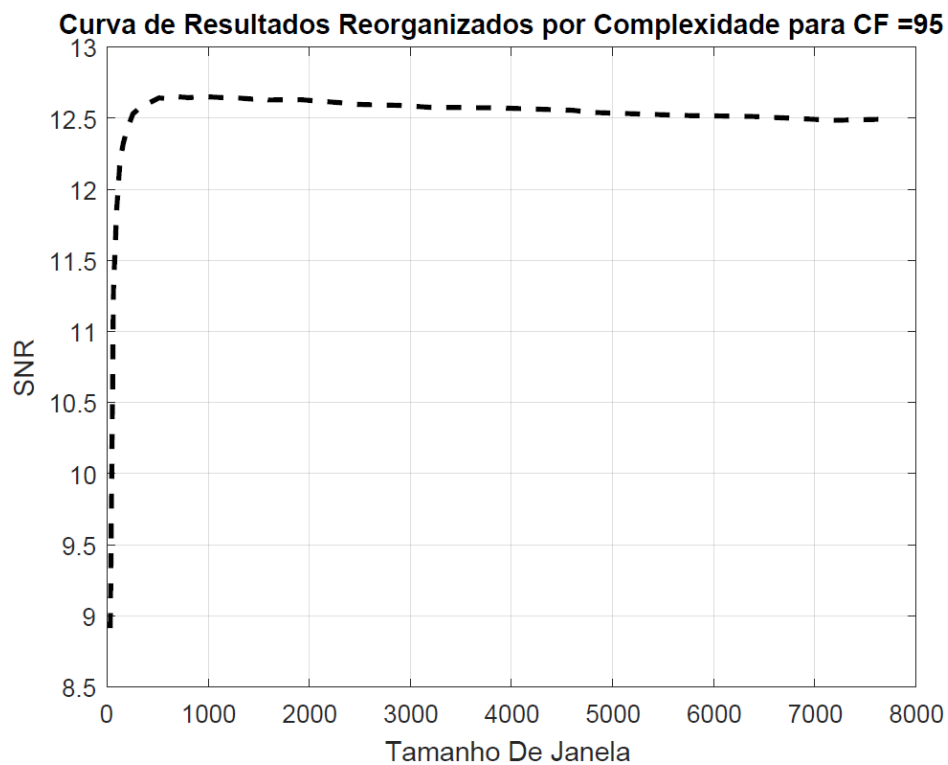
APÊNDICE XLV: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 90%



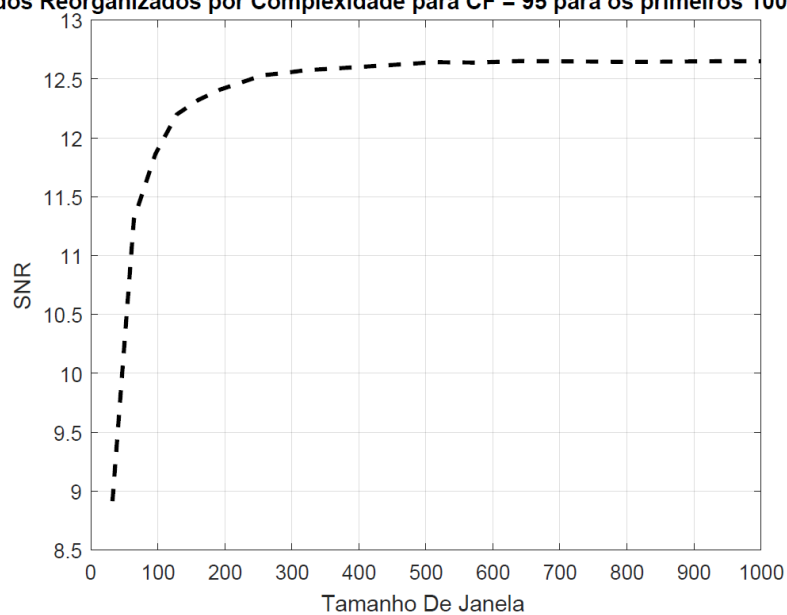
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



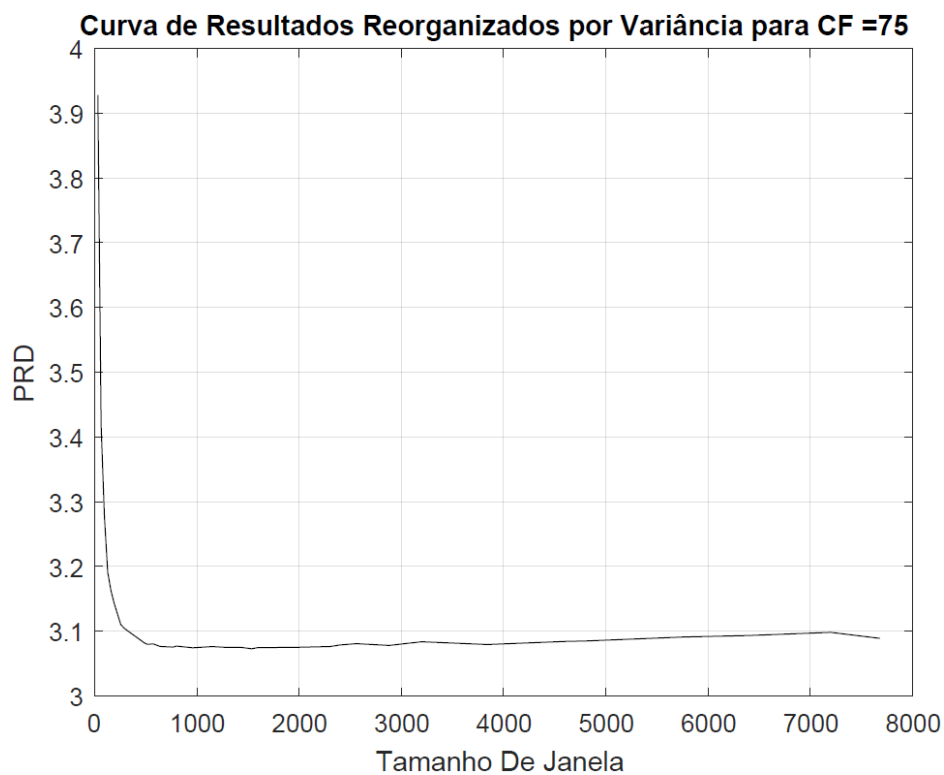
APÊNDICE XLVI: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por complexidade, para os valores de CF: 95%



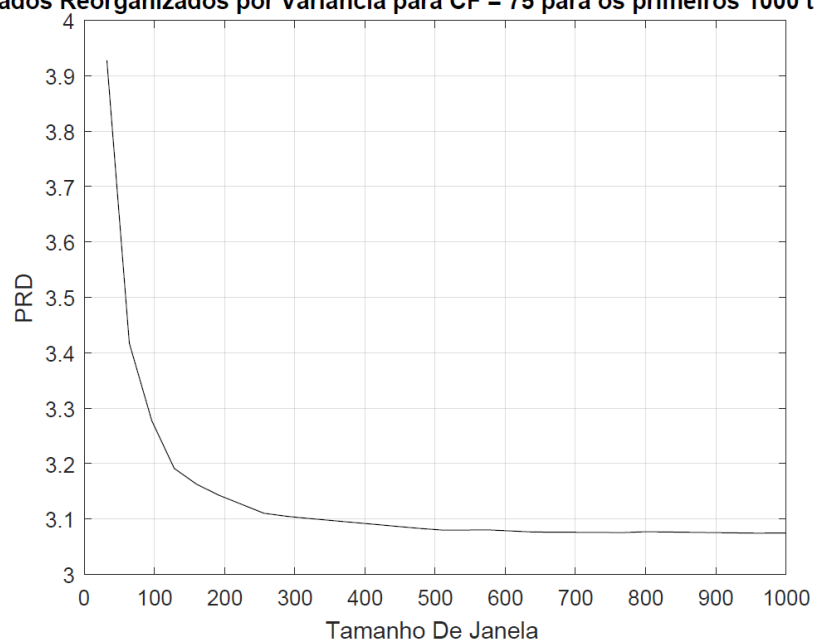
Curva de Resultados Reorganizados por Complexidade para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



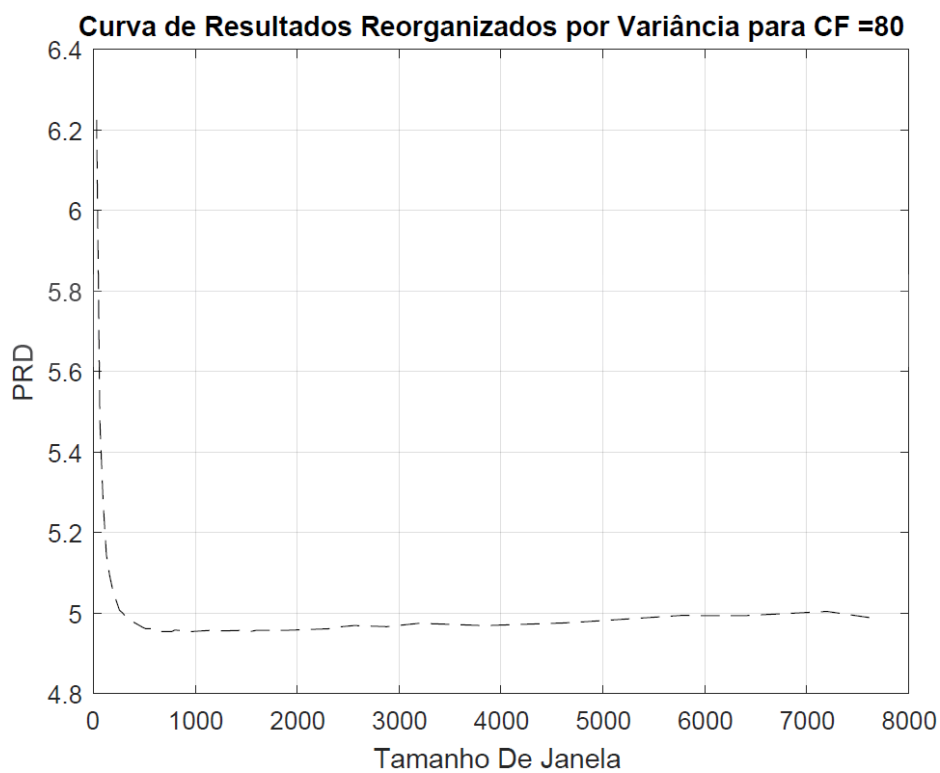
APÊNDICE XLVII: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 75%



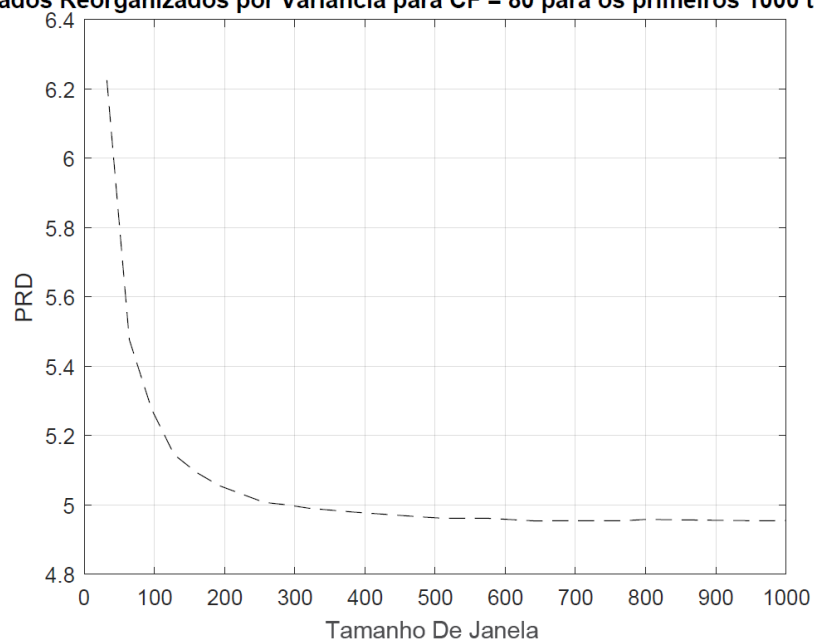
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



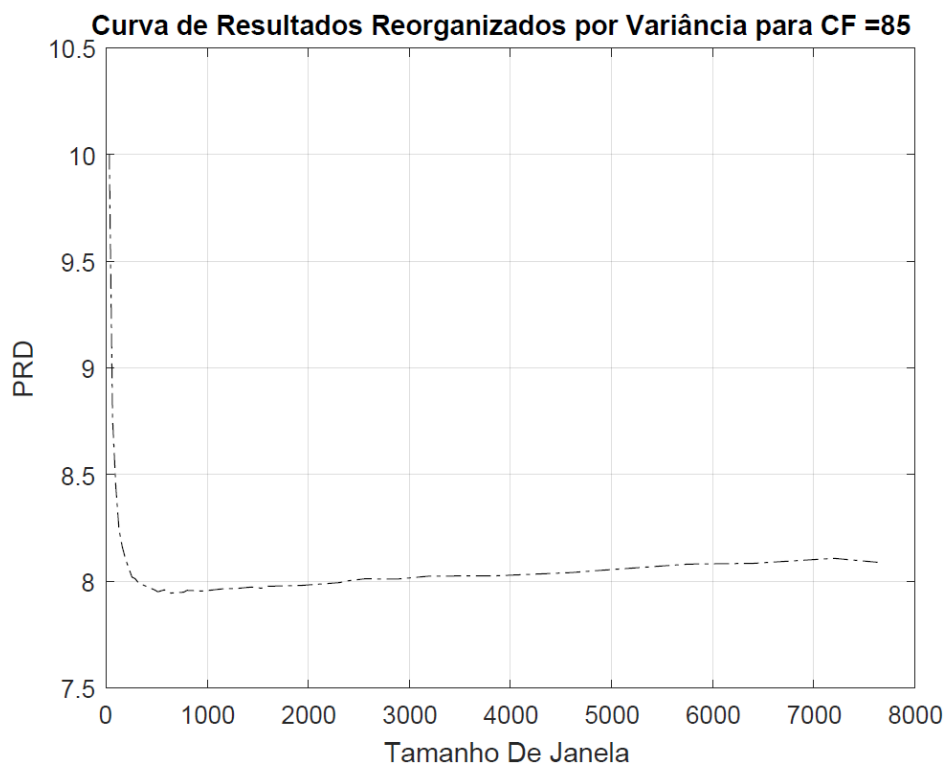
APÊNDICE XLVIII: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 80%



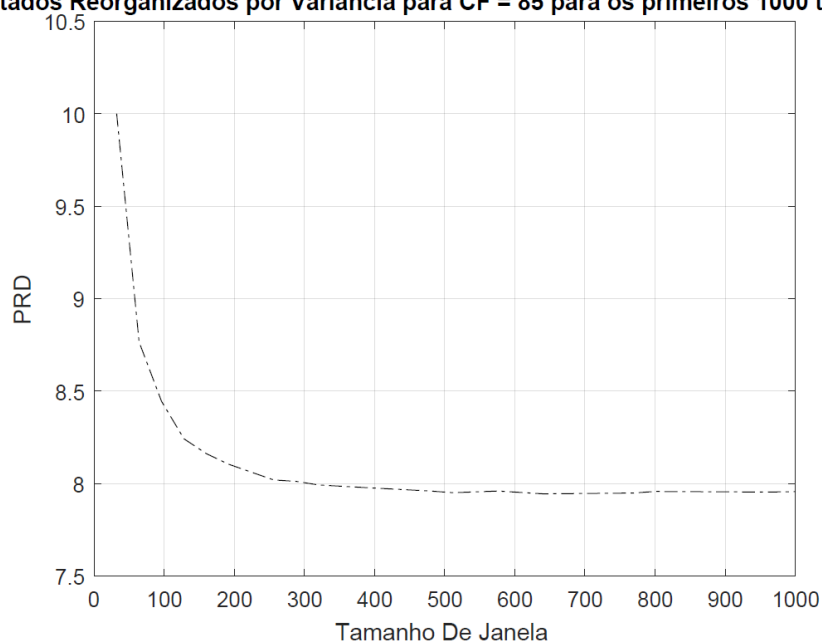
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



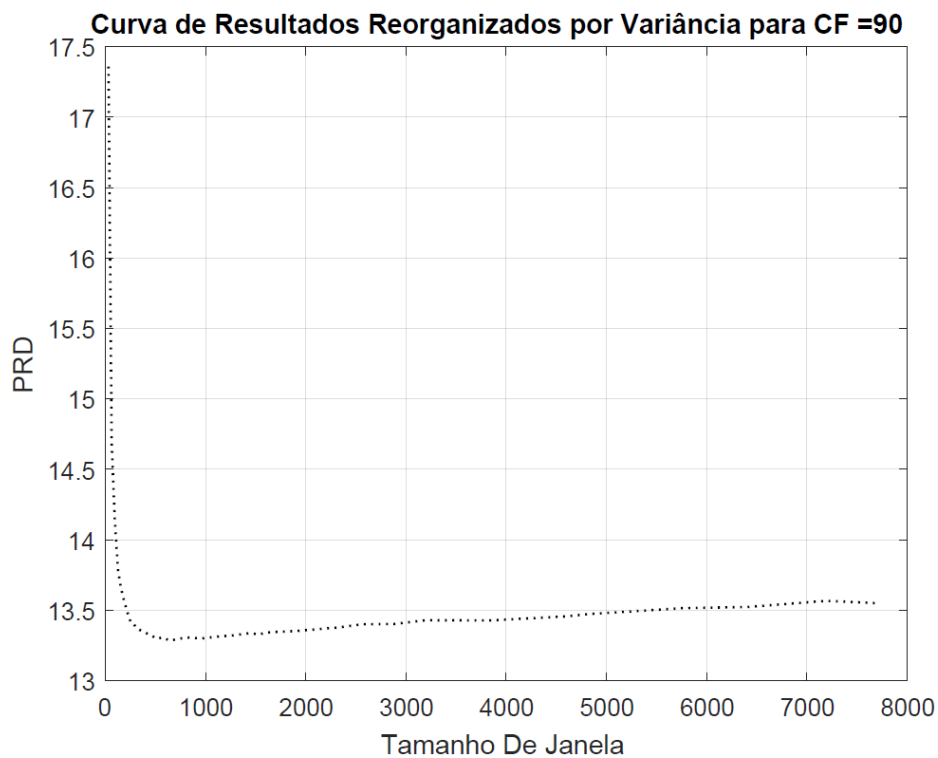
APÊNDICE XLIX: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 85%



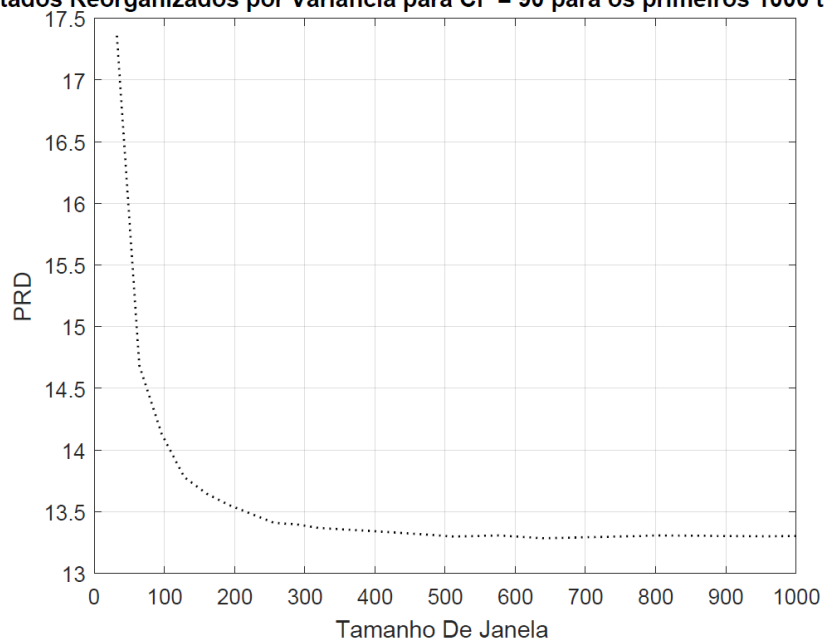
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



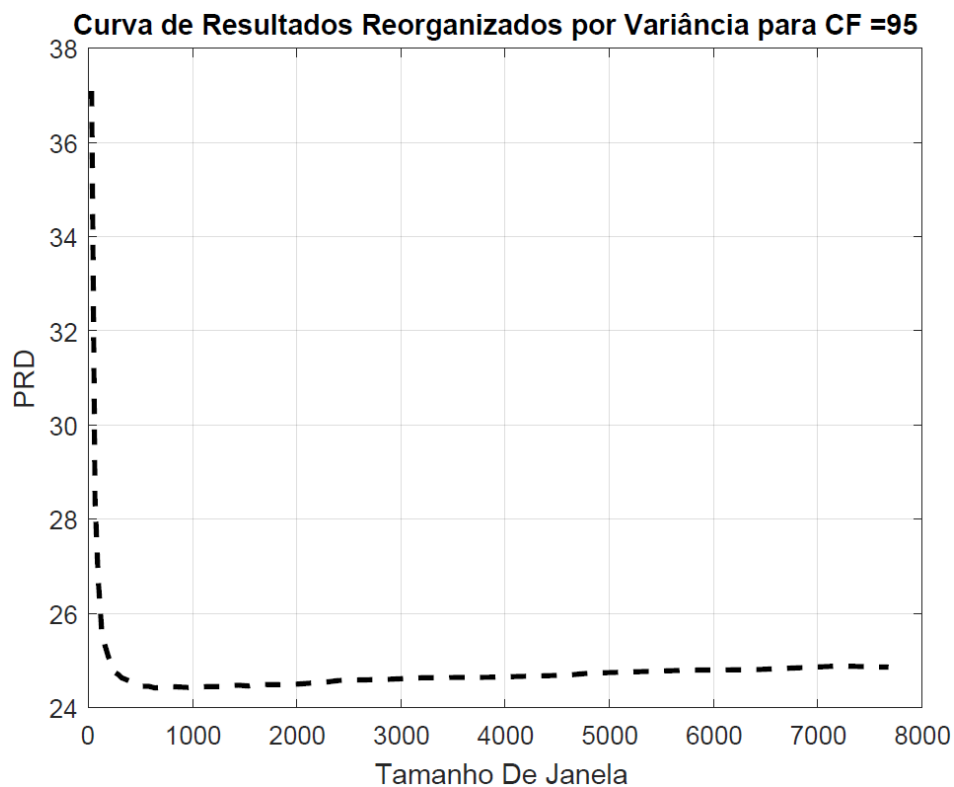
APÊNDICE L: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 90%



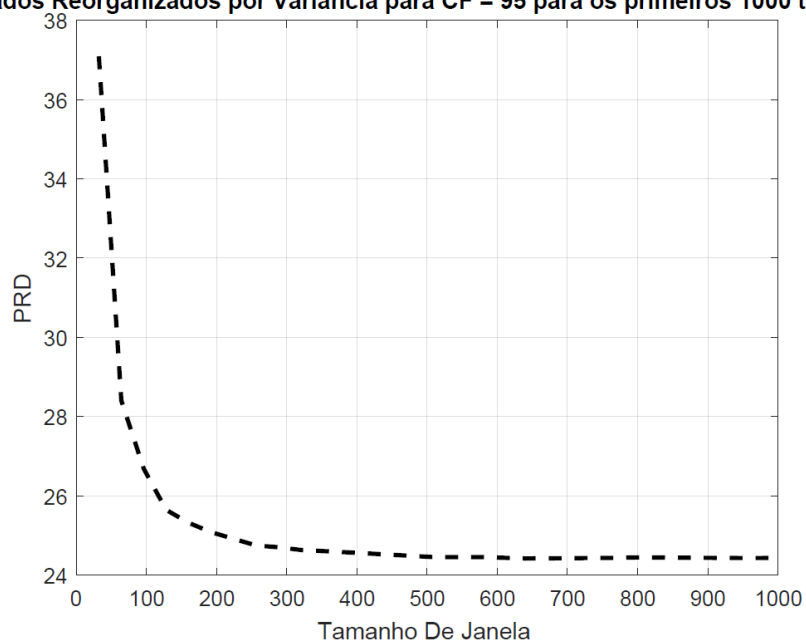
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



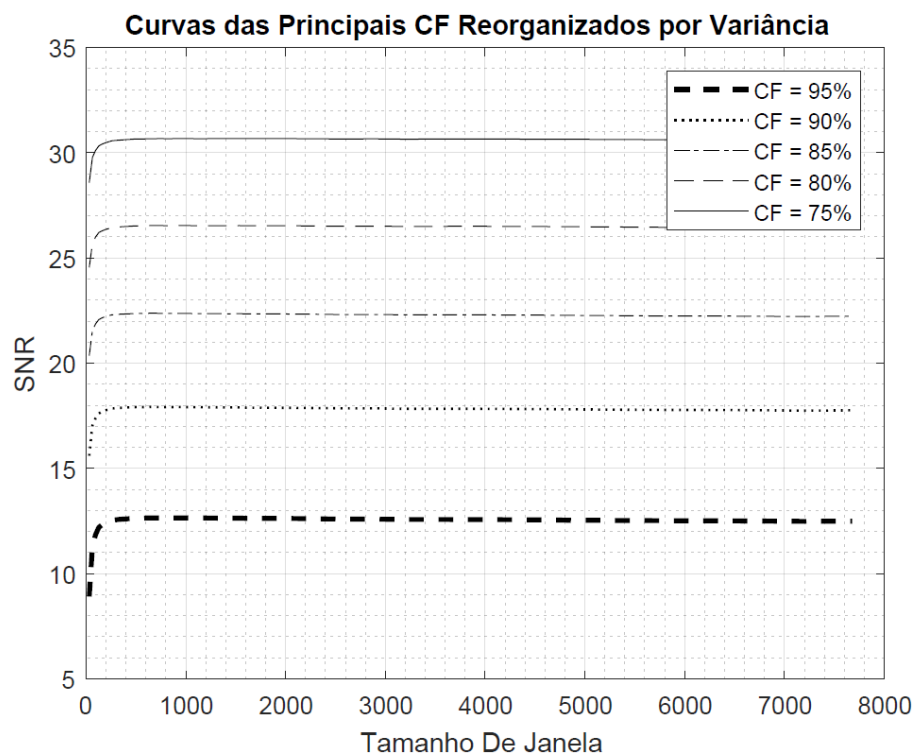
APÊNDICE LI: PRD para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 95%



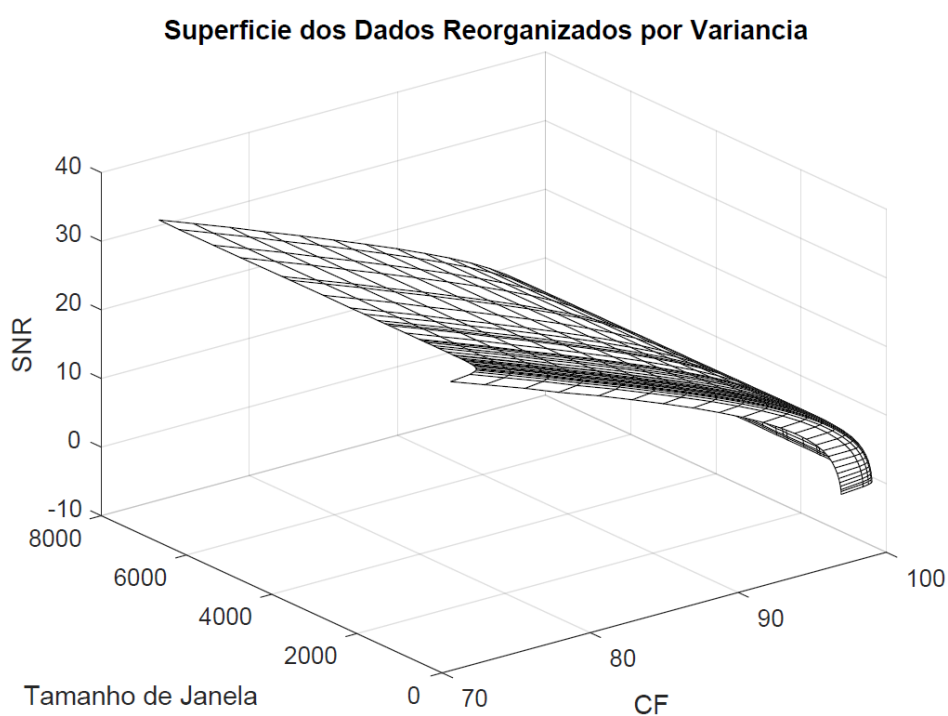
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



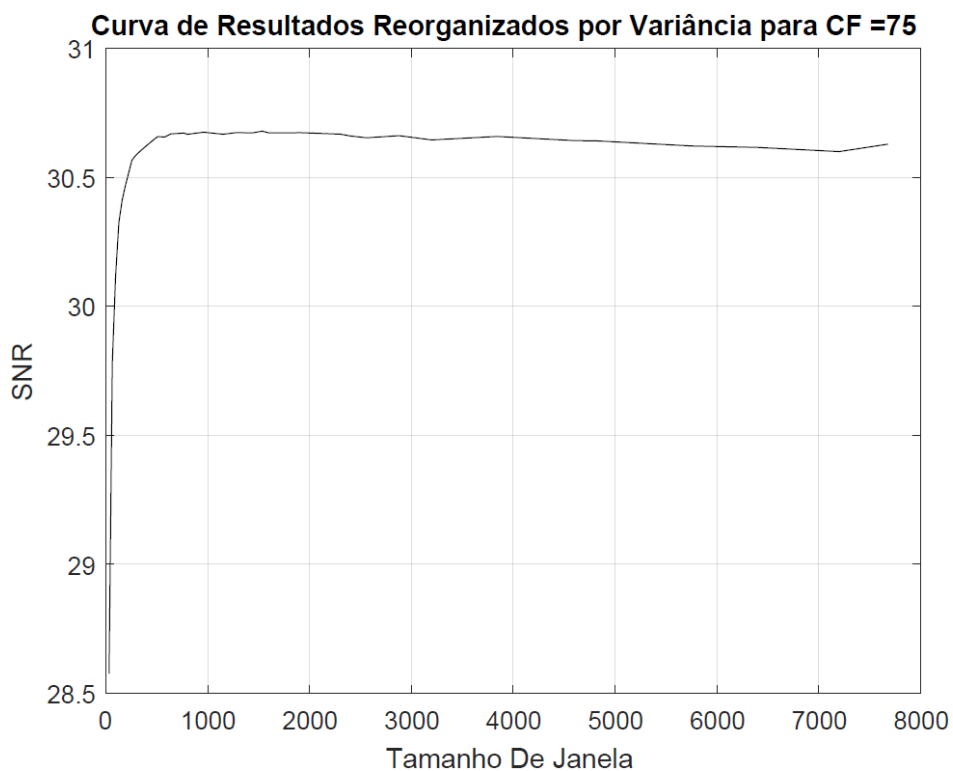
APÊNDICE LII: Principais valores de CF usando HEVC reorganização por Variância com os valores da SNR



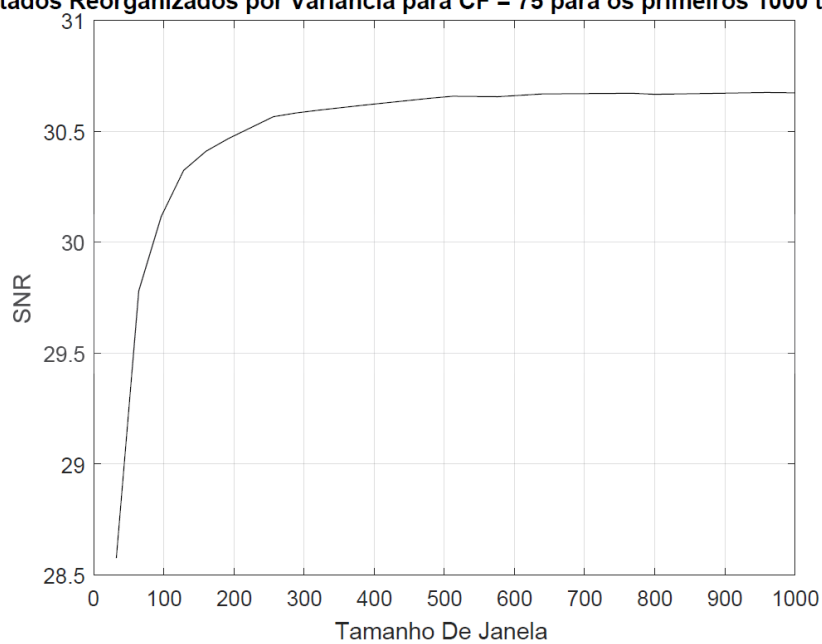
APÊNDICE LIII: Superfície com os resultados da compressão usando HEVC, reorganizado por variância, com os valores da SNR



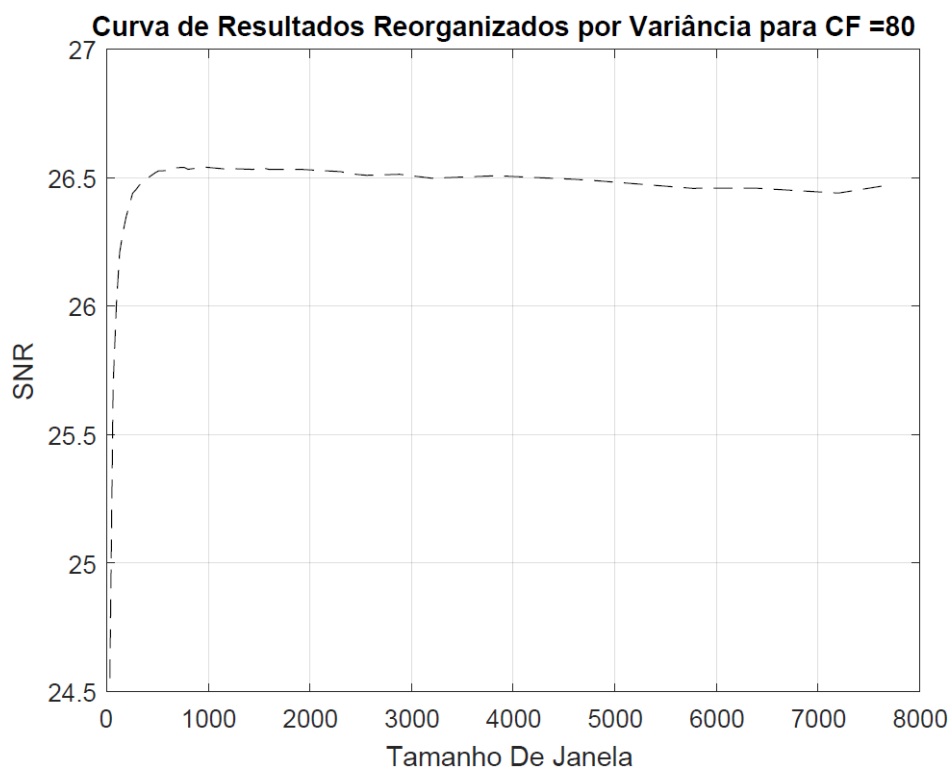
APÊNDICE LIV: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 75%



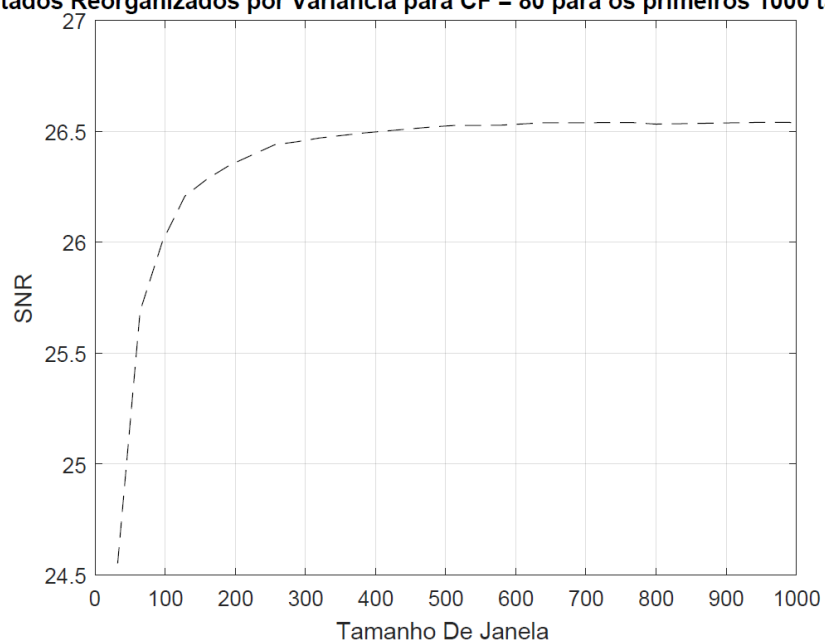
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



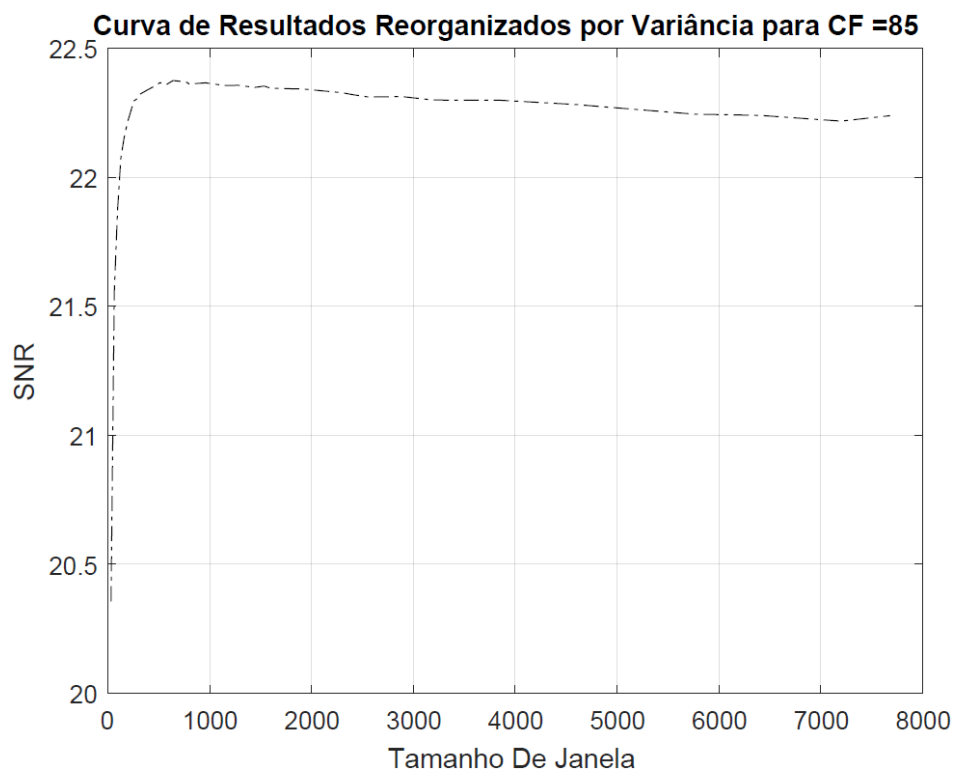
APÊNDICE LV: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância para os valores de CF: 80%



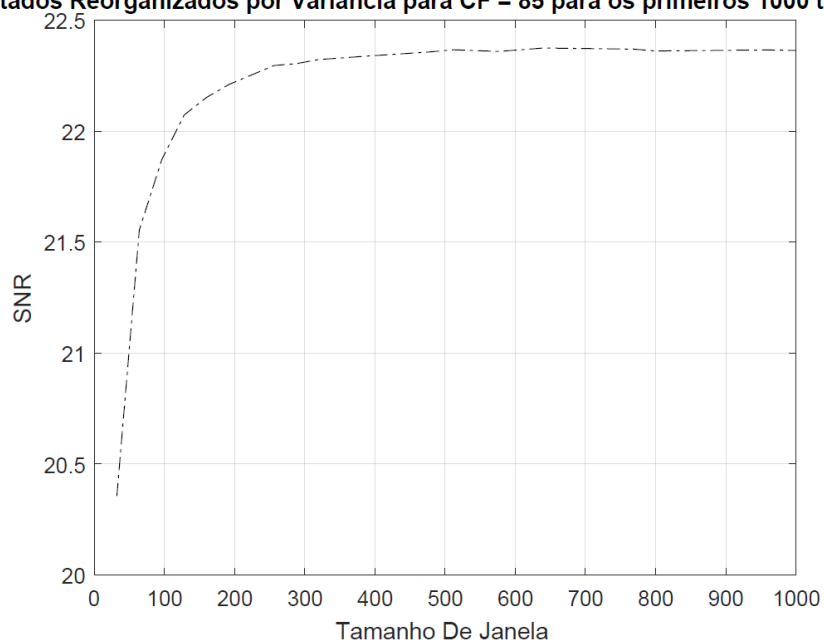
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



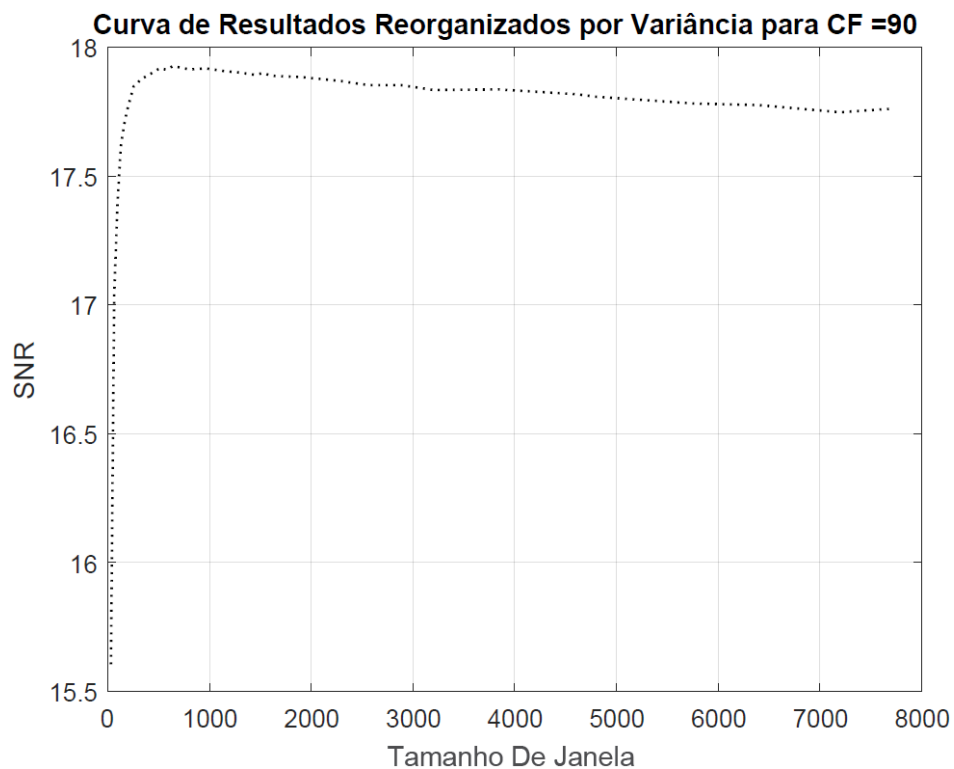
APÊNDICE LVI: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 85%



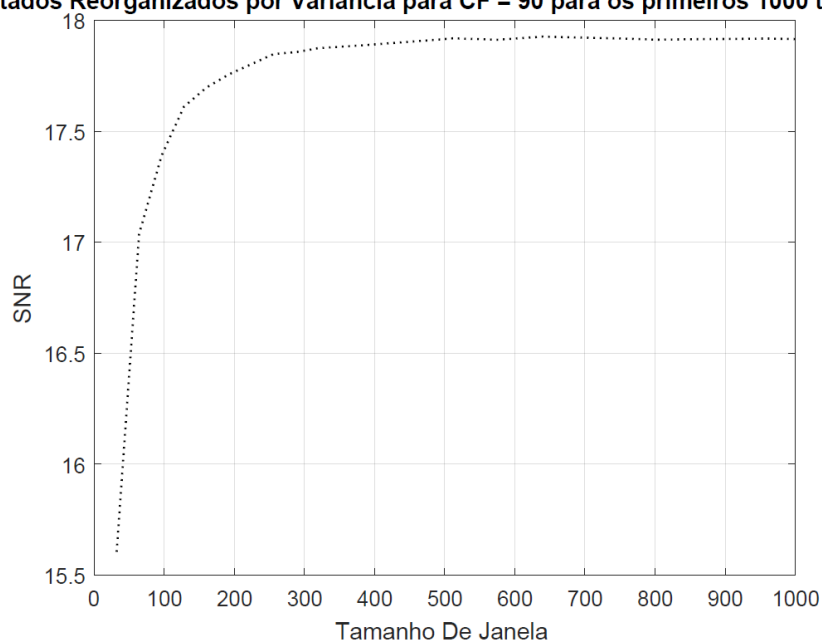
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



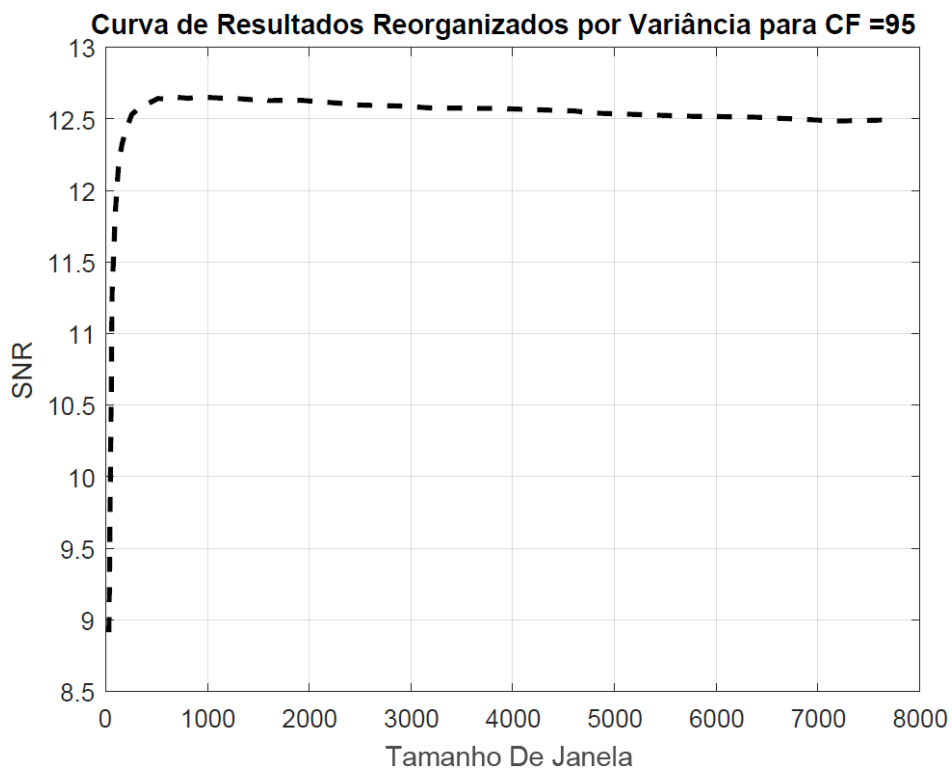
APÊNDICE LVII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 90%



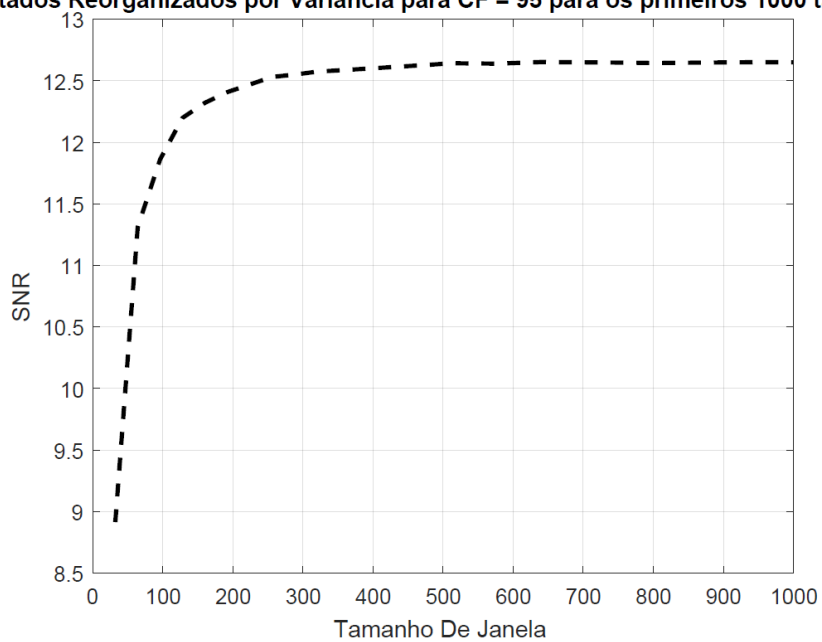
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



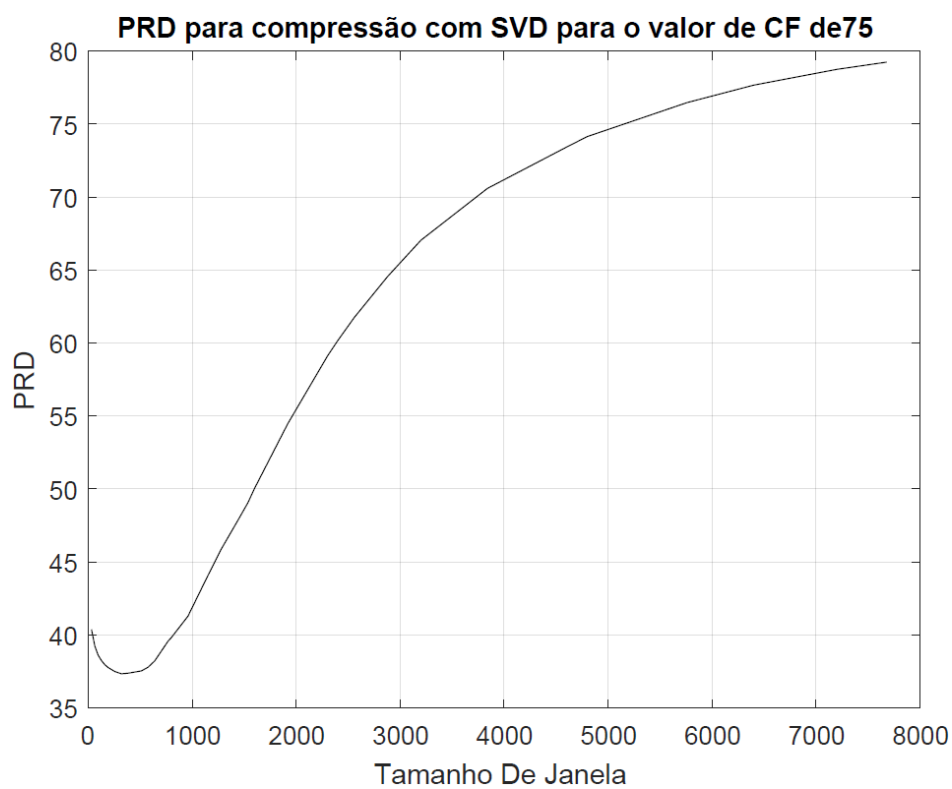
APÊNDICE LVIII: SNR para compressão usando HEVC, reorganizado por variância, para os valores de CF: 95%



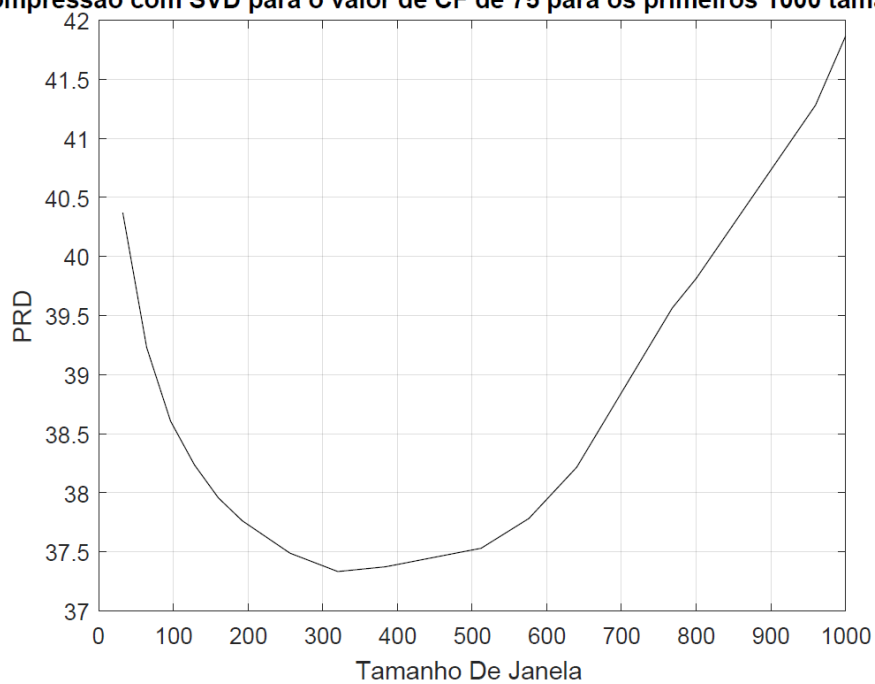
Curva de Resultados Reorganizados por Variância para CF = 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



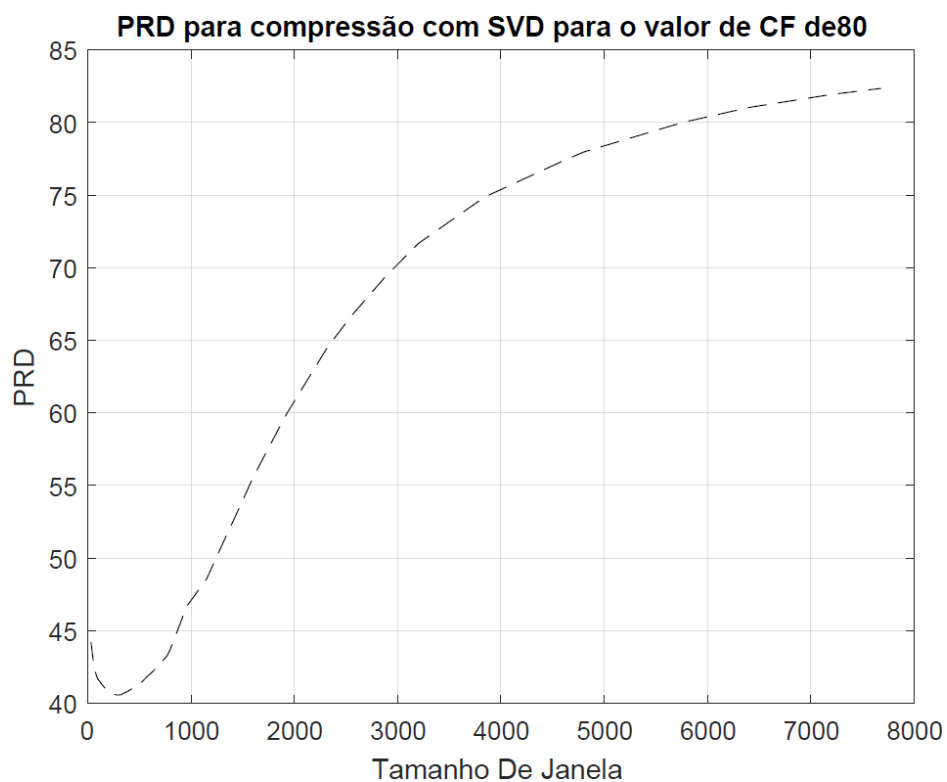
APÊNDICE LIX: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%



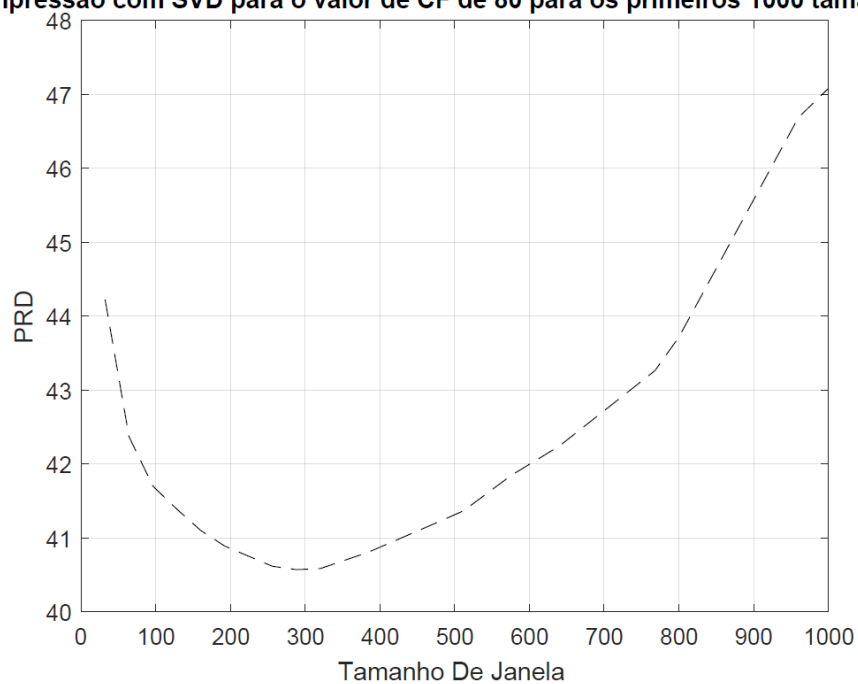
PRD para compressão com SVD para o valor de CF de 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



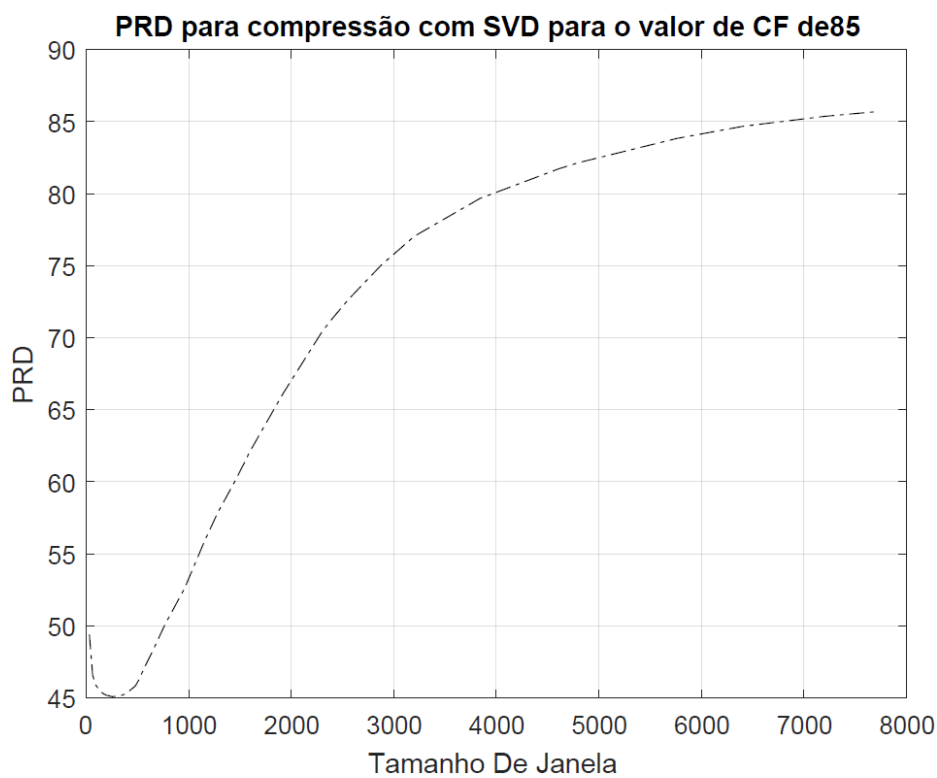
APÊNDICE LX: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 80%



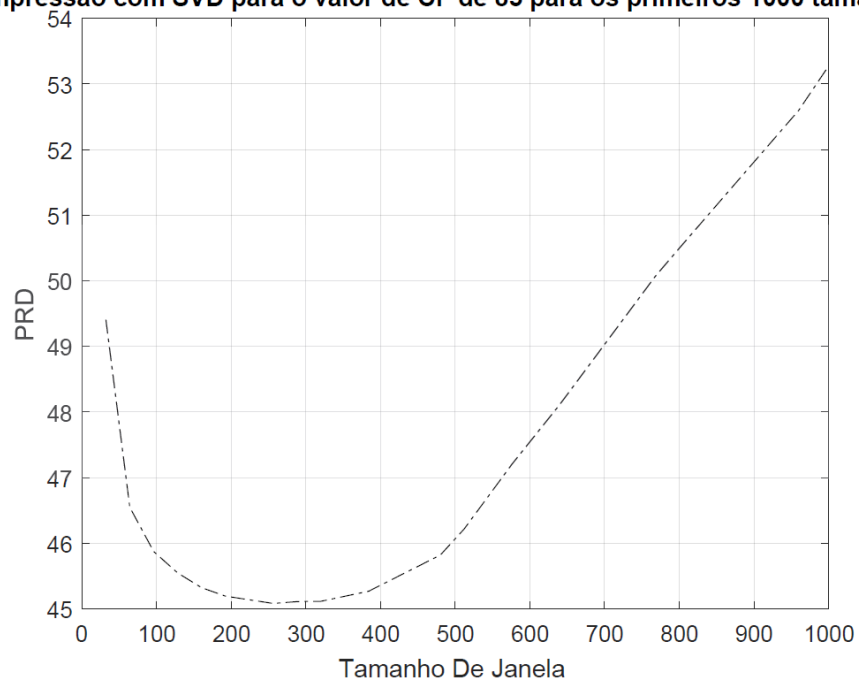
PRD para compressão com SVD para o valor de CF de 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



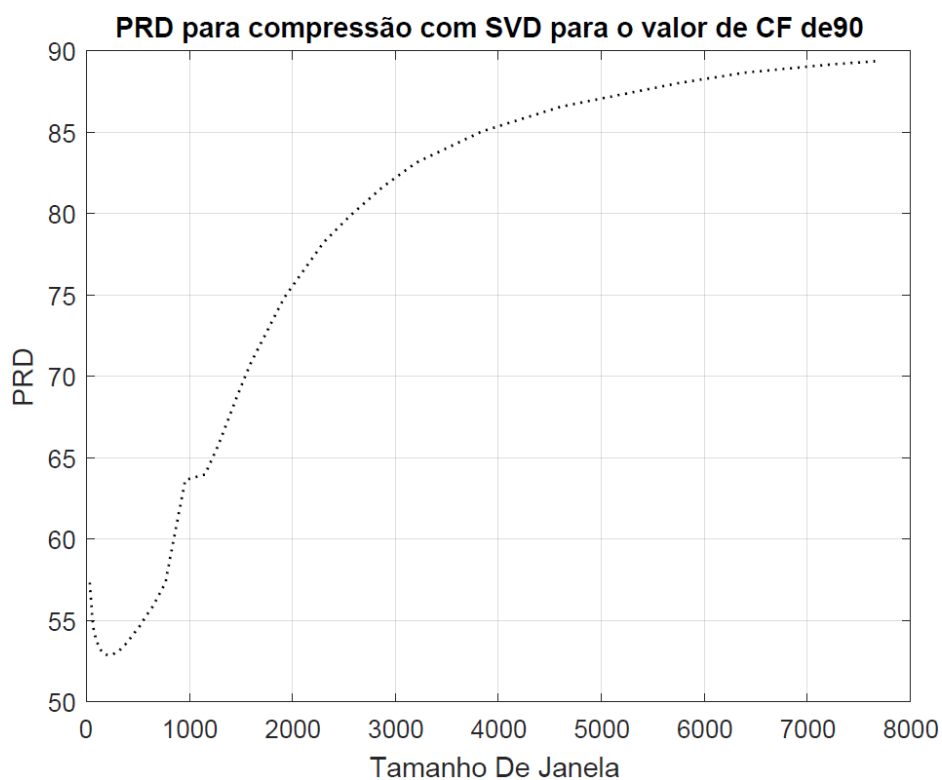
APÊNDICE LXI: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 85%



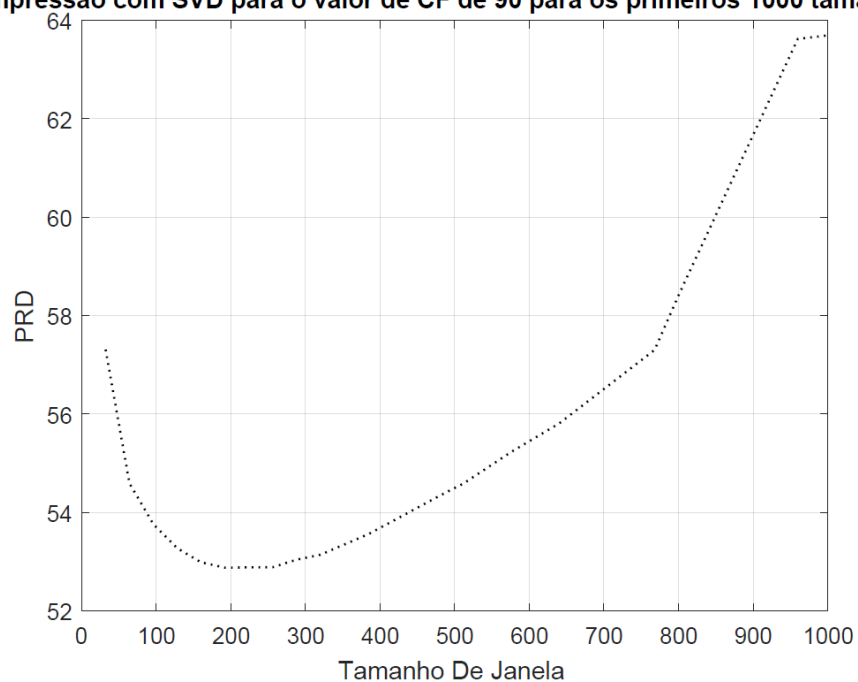
PRD para compressão com SVD para o valor de CF de 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



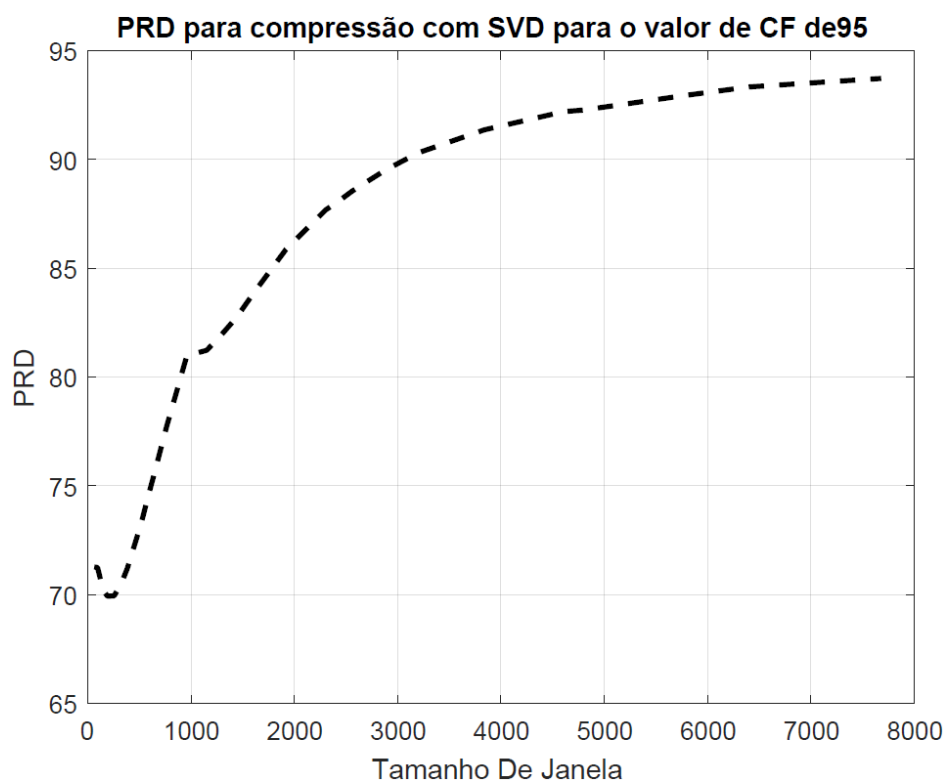
APÊNDICE LXII: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 90%



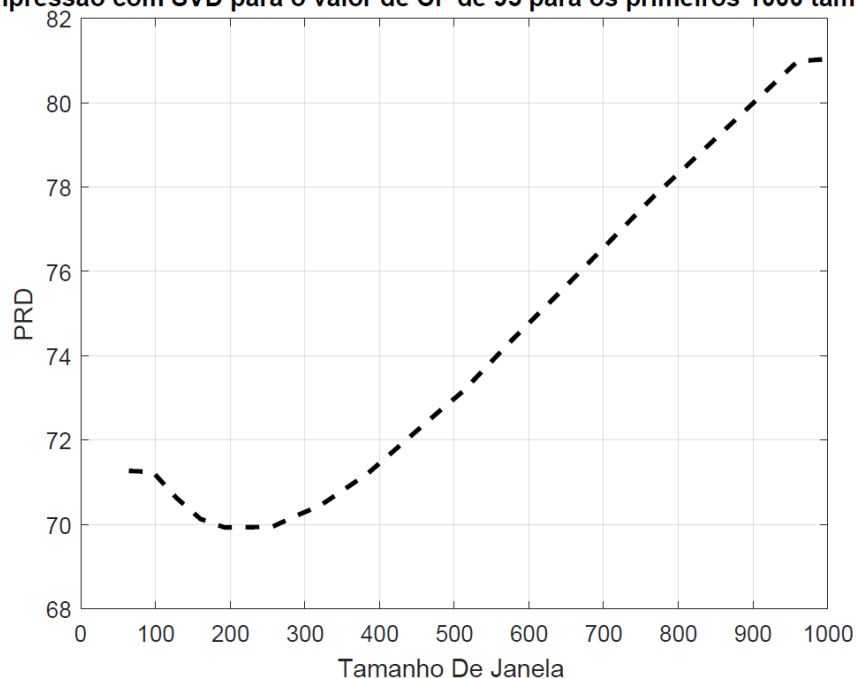
PRD para compressão com SVD para o valor de CF de 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



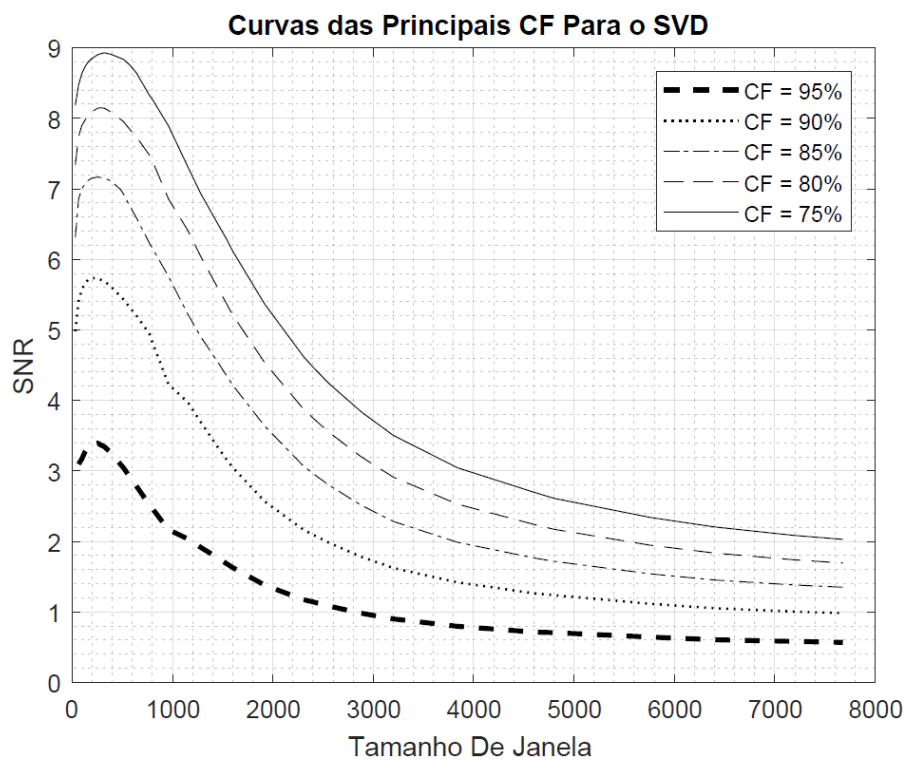
APÊNDICE LXIII: PRD para compressão usando SVD, para os valores de CF: 95%



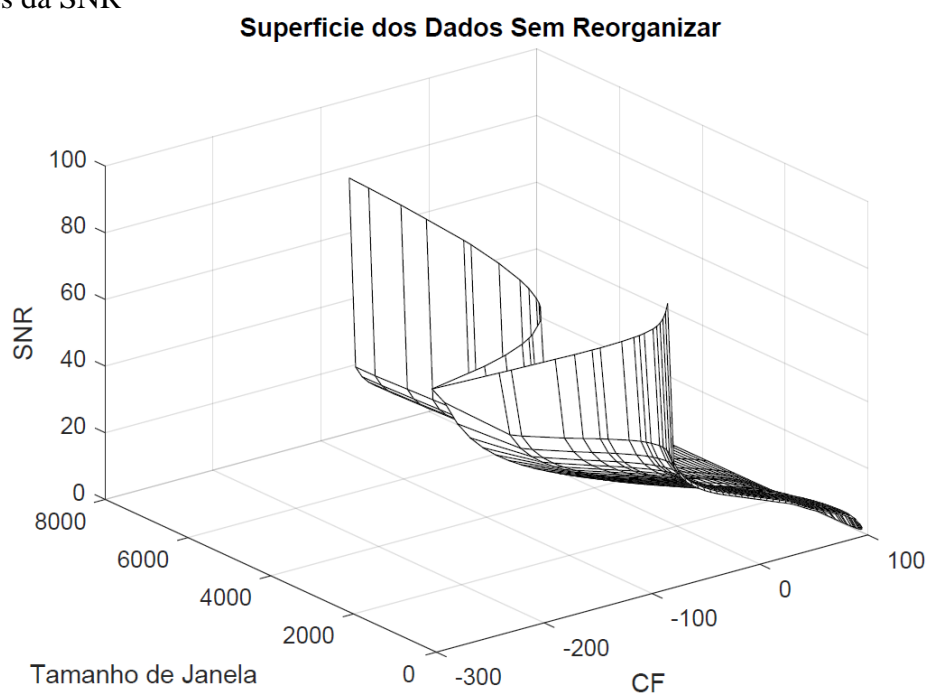
PRD para compressão com SVD para o valor de CF de 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



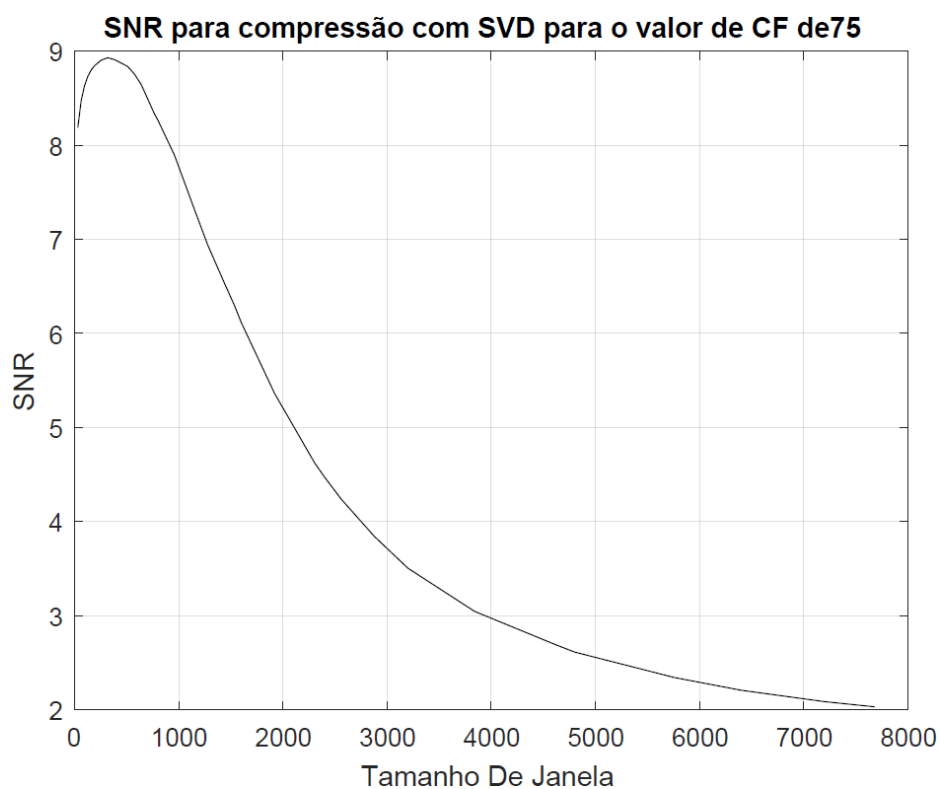
APÊNDICE LXIV: Principais valores de CF usando SVD com os valores da SNR



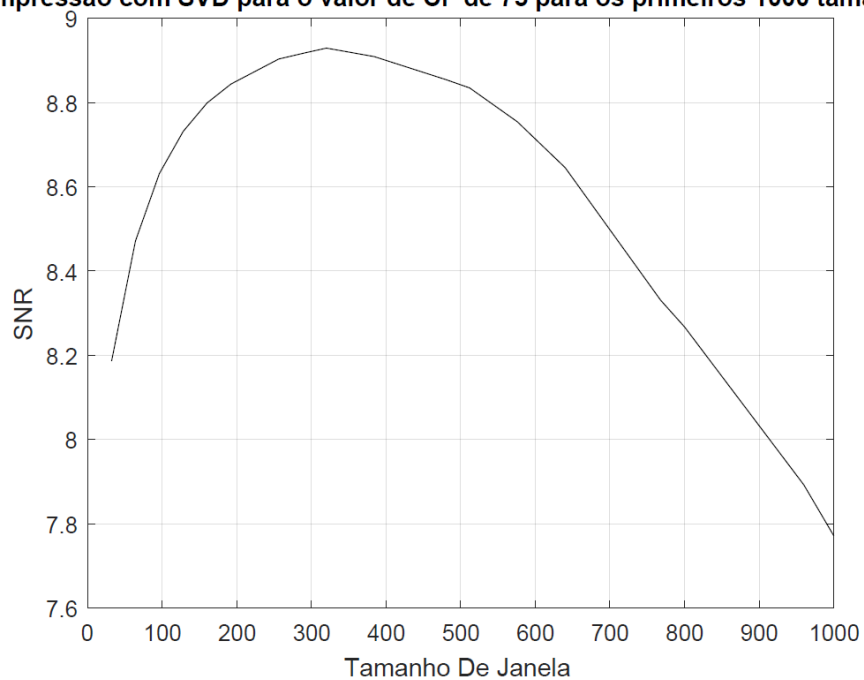
APÊNDICE LXV: Superfície com os resultados da compressão usando SVD, com os valores da SNR



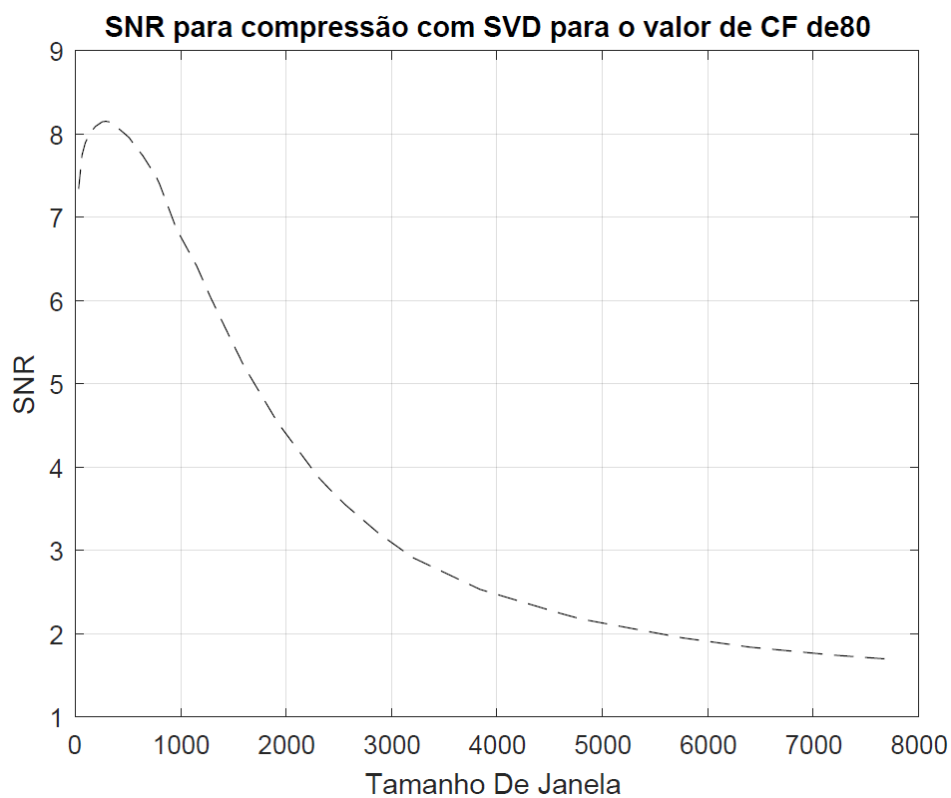
APÊNDICE LXVI: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 75%



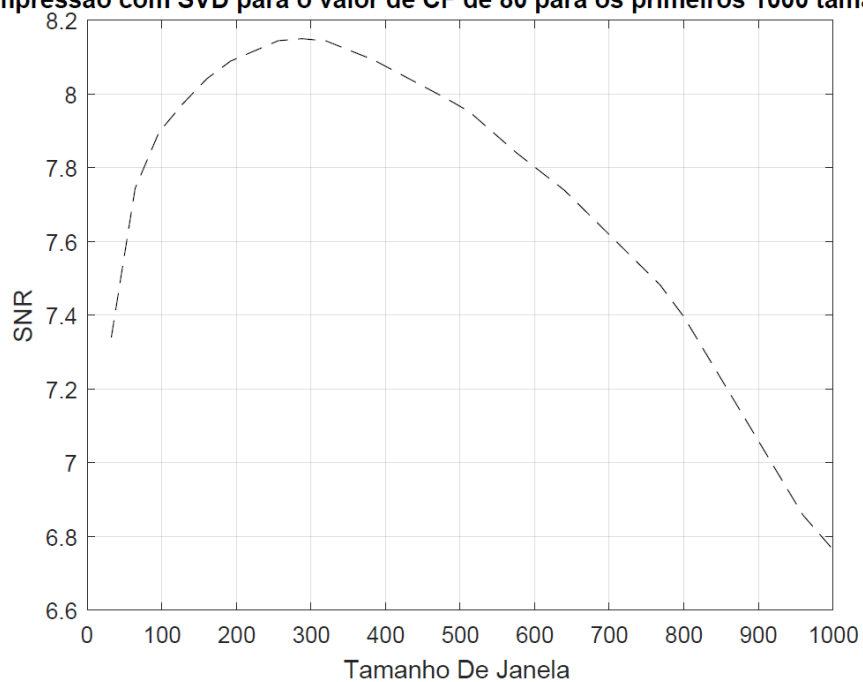
SNR para compressão com SVD para o valor de CF de 75 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



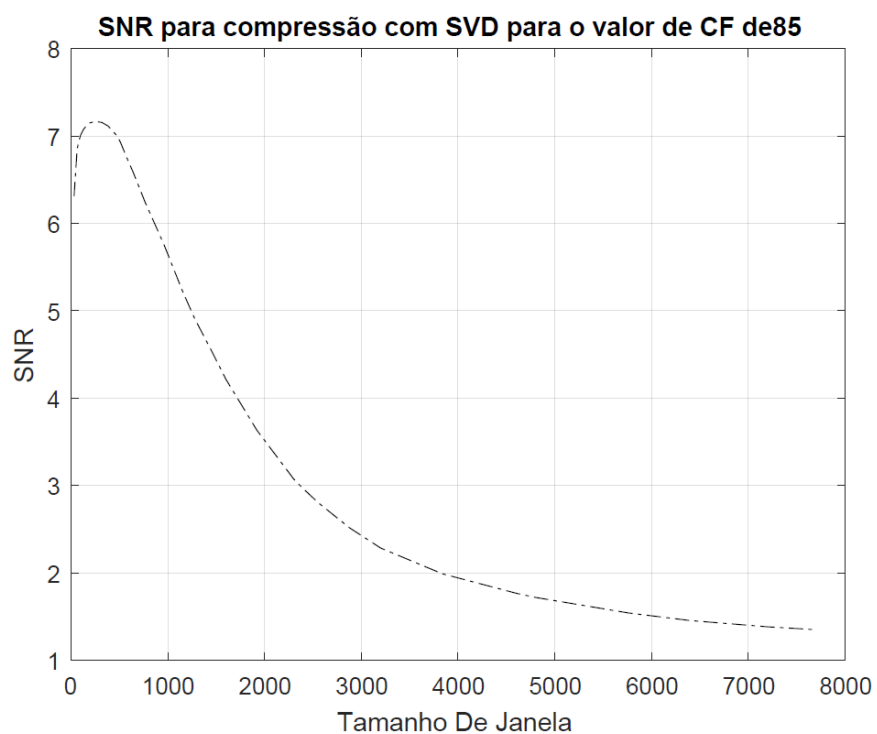
APÊNDICE LXVII: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 80%



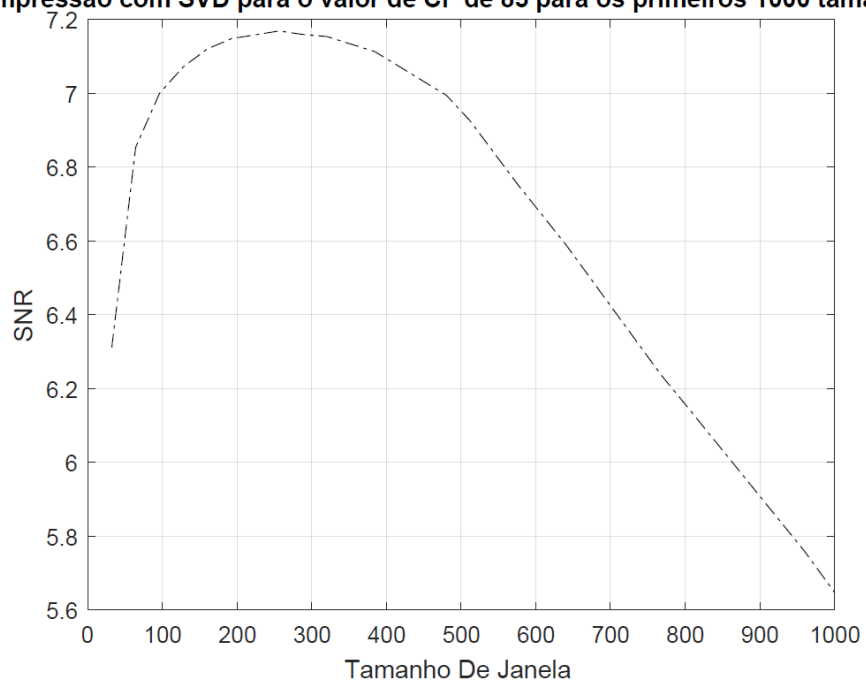
SNR para compressão com SVD para o valor de CF de 80 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



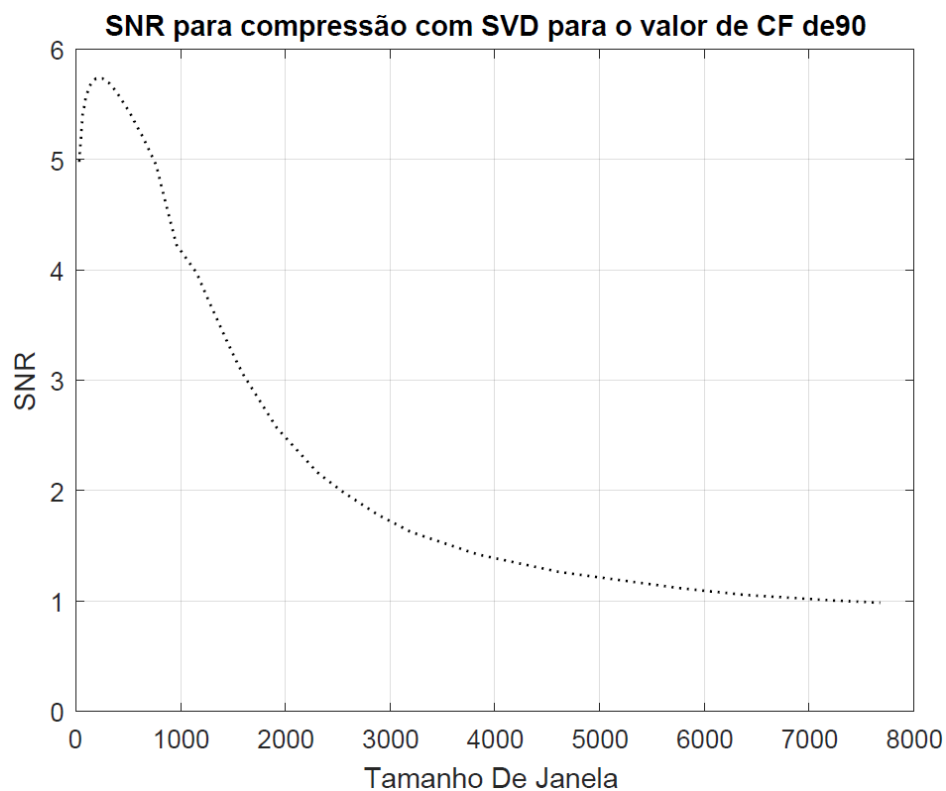
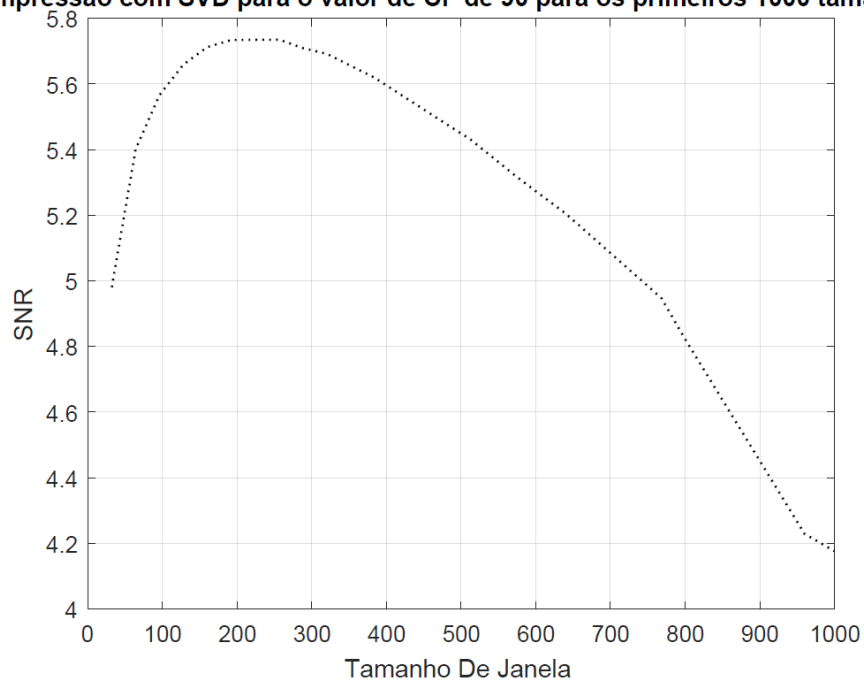
APÊNDICE LXVIII: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 85%



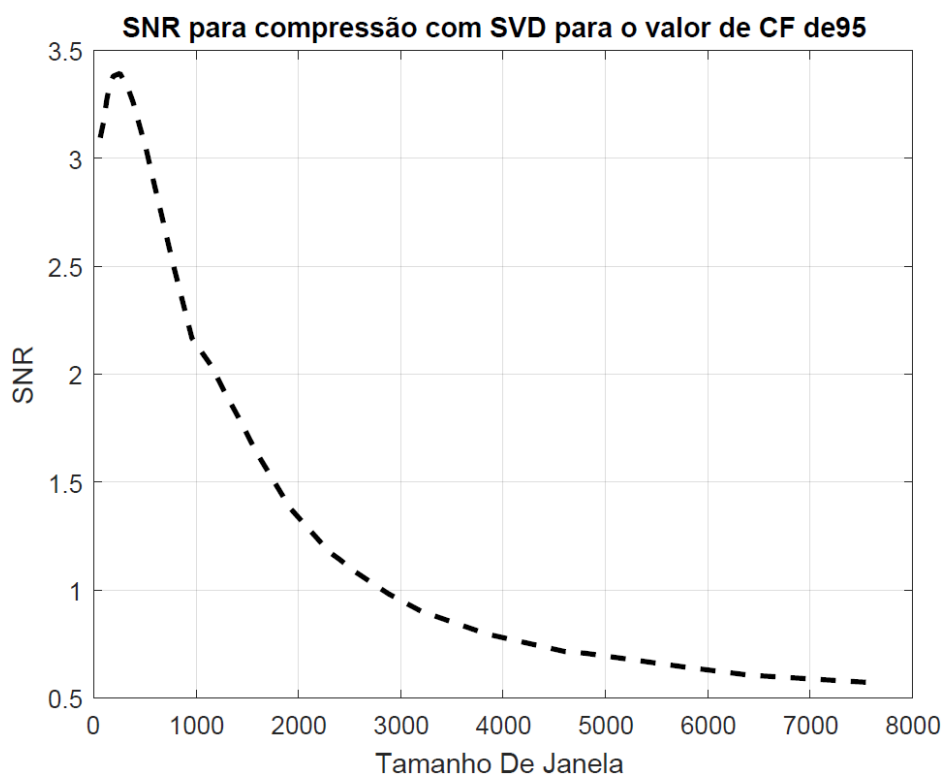
SNR para compressão com SVD para o valor de CF de 85 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



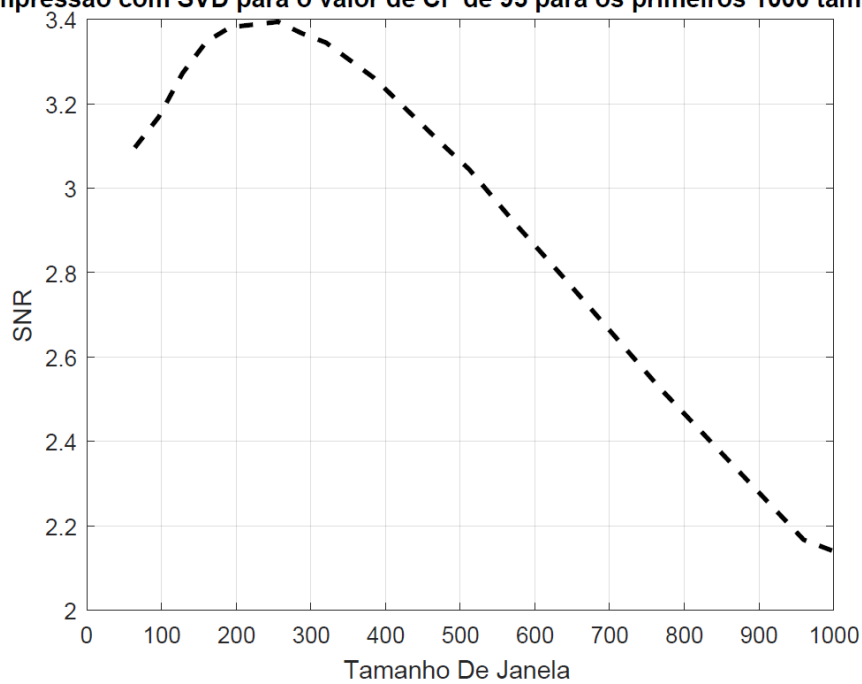
APÊNDICE LXIX: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 90%

**SNR para compressão com SVD para o valor de CF de 90 para os primeiros 1000 tamanhos de janela**

APÊNDICE LXX: SNR para compressão usando SVD, para os valores de CF: 95%



SNR para compressão com SVD para o valor de CF de 95 para os primeiros 1000 tamanhos de janela



APÊNDICE LXXI: AIC médio, CF médio para cada AIC, PRD médio para cada AIC, SNR médio para cada AIC, e o desvio padrão para cada valor

Janela	AIC	$\sigma(\text{AIC})$	CF	$\sigma(\text{CF})$	PRD	$\sigma(\text{PRD})$	SNR	$\sigma(\text{SNR})$
32	9,609	4,530	44,682	25,977	28,302	16,657	12,883	6,473
64	17,696	9,364	48,823	26,966	29,332	17,595	12,871	7,135
96	26,565	14,266	48,478	27,543	28,950	17,727	13,134	7,392
128	35,130	19,222	48,499	28,047	28,819	17,725	13,220	7,473
160	43,739	23,559	48,195	27,766	28,402	17,347	13,322	7,438
192	52,478	28,071	47,583	27,899	28,012	17,203	13,454	7,447
256	80,217	39,953	38,096	30,728	23,463	14,178	14,763	6,953
288	98,783	45,754	31,058	31,829	20,738	12,897	15,712	6,594
320	114,478	50,476	26,718	32,200	19,357	12,579	16,354	6,549
384	152,435	56,227	15,151	31,190	15,846	10,589	17,937	6,104
480	213,348	59,933	-2,268	28,646	11,896	7,335	19,986	5,270
512	237,652	56,914	-9,697	26,209	10,555	6,441	20,859	4,887
576	282,609	54,215	-22,687	23,493	8,799	5,013	22,187	4,357
640	329,348	45,740	-36,605	18,948	7,221	2,803	23,489	3,605
768	423,652	44,058	-66,154	17,268	5,200	1,532	26,110	2,957
800	447,000	44,307	-73,869	17,232	4,815	1,355	26,743	2,832
960	572,087	47,663	-118,804	18,244	2,916	0,686	30,970	2,289
1152	490,783	42,447	-90,842	16,502	4,927	1,249	26,473	2,572
1280	446,696	39,721	-77,976	15,818	6,318	1,452	24,244	2,261
1440	403,478	34,465	-67,187	14,270	7,963	1,598	22,167	1,912
1536	383,783	31,743	-63,299	13,493	8,700	1,675	21,380	1,805
1600	372,261	29,708	-61,359	12,863	9,145	1,699	20,933	1,726
1920	326,087	22,871	-55,871	10,914	10,796	1,801	19,458	1,523
2304	286,696	16,966	-54,351	9,121	12,036	1,797	18,488	1,353
2400	278,522	16,334	-54,373	9,036	12,264	1,783	18,320	1,319
2560	265,870	14,830	-54,532	8,597	12,623	1,739	18,059	1,243
2880	243,565	11,961	-55,088	7,604	13,194	1,661	17,662	1,132
3200	225,304	10,420	-56,322	7,214	13,670	1,491	17,337	0,986
3840	195,000	7,926	-58,189	6,415	14,343	1,474	16,913	0,929
4608	167,696	5,973	-60,264	5,688	15,045	1,503	16,496	0,898
4800	162,435	5,591	-61,163	5,531	15,045	1,497	16,495	0,898
5760	138,826	4,529	-63,332	5,308	15,295	1,774	16,366	1,027
6400	126,609	4,031	-64,673	5,223	15,430	1,899	16,297	1,091
7200	113,870	3,584	-65,900	5,203	15,518	2,123	16,262	1,197
7680	107,478	3,515	-66,706	5,431	15,298	2,248	16,397	1,278

APÊNDICE LXXII: MDL médio, CF médio para cada MDL, PRD médio para cada MDL, SNR médio para cada MDL, e o desvio padrão para cada valor

Janela	MDL	$\sigma(\text{MDL})$	CF	$\sigma(\text{CF})$	PRD	$\sigma(\text{PRD})$	SNR	$\sigma(\text{SNR})$
32	9,609	4,530	44,682	25,977	28,302	16,657	12,883	6,473
64	17,826	9,257	48,446	26,658	29,332	17,595	12,871	7,135
96	26,739	14,347	48,141	27,699	28,950	17,727	13,134	7,392
128	35,565	19,240	47,862	28,073	28,819	17,725	13,220	7,473
160	50,696	26,206	39,942	30,955	28,402	17,347	13,322	7,438
192	69,609	31,631	30,458	31,514	28,012	17,203	13,454	7,447
256	108,044	39,778	16,630	30,629	23,463	14,178	14,763	6,953
288	129,435	42,232	9,665	29,423	20,738	12,897	15,712	6,594
320	154,913	40,190	0,839	25,703	19,357	12,579	16,354	6,549
384	204,870	36,278	-14,010	20,194	15,846	10,589	17,937	6,104
480	283,478	30,222	-35,815	14,509	11,896	7,335	19,986	5,270
512	309,261	31,481	-42,675	14,548	10,555	6,441	20,859	4,887
576	362,957	33,223	-57,504	14,449	8,799	5,013	22,187	4,357
640	418,044	34,963	-73,328	14,524	7,221	2,803	23,489	3,605
768	532,826	37,453	-108,920	14,703	5,200	1,532	26,110	2,957
800	562,000	37,884	-118,553	14,755	4,815	1,355	26,743	2,832
960	712,000	38,249	-172,299	14,668	2,916	0,686	30,970	2,289
1152	614,304	29,999	-138,851	11,690	4,927	1,249	26,473	2,572
1280	563,304	26,457	-124,408	10,559	6,318	1,452	24,244	2,261
1440	509,565	22,917	-111,114	9,505	7,963	1,598	22,167	1,912
1536	481,957	21,266	-105,038	9,056	8,700	1,675	21,380	1,805
1600	465,565	20,358	-101,771	8,831	9,145	1,699	20,933	1,726
1920	397,870	15,607	-90,149	7,456	10,796	1,801	19,458	1,523
2304	340,478	11,789	-83,270	6,340	12,036	1,797	18,488	1,353
2400	328,739	11,083	-82,169	6,132	12,264	1,783	18,320	1,319
2560	310,826	9,976	-80,626	5,783	12,623	1,739	18,059	1,243
2880	280,391	8,206	-78,503	5,216	13,194	1,661	17,662	1,132
3200	255,870	6,969	-77,497	4,826	13,670	1,491	17,337	0,986
3840	217,130	5,181	-76,114	4,193	14,343	1,474	16,913	0,929
4608	183,783	3,954	-75,616	3,767	15,045	1,503	16,496	0,898
4800	177,174	3,499	-75,768	3,462	15,045	1,497	16,495	0,898
5760	149,304	2,636	-75,647	3,085	15,295	1,774	16,366	1,027
6400	135,348	2,424	-76,027	3,136	15,430	1,899	16,297	1,091
7200	120,913	1,905	-76,150	2,757	15,518	2,123	16,262	1,197
7680	113,652	1,945	-76,270	2,993	15,298	2,248	16,397	1,278

APÊNDICE LXXIII: Resultados obtidos por Srinivasan *et al.* com modificações.

Camada de compressão com perdas		SPECK		BISK	
Método	δ	CF	PRD	CF	PRD
Single Channel	0	42,197	0,660	42,529	0,670
MC - Image		49,749	0,570	49,749	0,570
MC - t/dt/s		50,980	0,570	51,456	0,570
MC - s/s/t		53,271	0,570	52,381	0,570
Single Channel	5	69,512	7,300	69,789	7,300
MC - Image		75,728	6,220	75,728	6,220
MC - t/dt/s		77,064	6,090	77,376	6,090
MC - s/s/t		79,080	5,960	78,261	6,020
Single Channel	10	76,247	13,770	76,415	13,760
MC - Image		82,301	10,990	82,270	11,000
MC - t/dt/s		83,389	10,110	83,660	9,970
MC - s/s/t		84,917	9,210	84,277	9,530

APÊNDICE LXXIV: Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado pelo Srinivasan *et al.*

Método	Parâmetros		
	CF	PRD	Tamanho de Janela
$\delta = 0$			
Single Channel - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	42,197	0,660 22,037	-- 256
Single Channel - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	42,529	0,670 22,179	-- 256
MC - Image - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> MC - Image - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	49,749	0,570 0,570 25,232	-- -- 320
MC - t/dt/ - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	50,980	0,570 24,748	-- 320
MC - t/dt/ - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	51,456	0,570 25,947	-- 320
MC - s/s/t - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	53,271	0,570 26,707	-- 320
MC - s/s/t - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	52,381	0,570 26,334	-- 320

$\delta = 5$			
Single Channel - - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	69,512	7,300 34,228	-- 384
Single Channel - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> SVD	69,789	7,300 34,370	-- 384
MC - Image - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> MC - Image - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	75,728	6,220 6,220 2,976 3,291 3,236 3,291 37,790	-- -- 64 1536 256 1536 320
MC - t/dt/ - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	77,064	6,090 3,343 3,743 3,687 3,743 38,629	-- 64 1536 256 1536 320
MC - t/dt/ - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	77,376	6,090 3,442 3,848 3,792 3,848 38,824	-- 64 1536 256 1536 320
MC - s/s/t - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	79,080	5,960 3,984 4,547 4,487 4,547 39,893	-- 64 640 256 640 320
MC - s/s/t - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	78,261	6,020 3,723 4,185 4,127 4,185 39,379	-- 64 640 256 640 320
$\delta = 10$			
Single Channel - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	76,247	13,77 3,115 3,467 3,411 3,467 38,116	-- 64 1536 256 1536 320
Single Channel - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação	76,415	13,76 3,161 3,523 3,468	-- 64 1536 256

HEVC – Variância SVD		3,523 38,221	1536 320
MC - Image - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	82,301	10,99 5,373 6,147 6,105 6,147 42,644	-- 64 640 256 640 256
MC - Image - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	82,270	13,76 5,356 6,130 6,088 6,130 42,615	-- 64 640 256 640 640
MC - t/dt/ - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	83,389	10,11 5,943 6,832 6,801 6,832 43,626	-- 64 640 128 640 256
MC - t/dt/ - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	83,660	9,97 6,085 7,019 6,990 7,019 43,871	-- 64 640 128 640 256
MC - s/s/t - SPECK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	84,917	9,21 6,881 7,887 7,864 7,887 45,007	-- 64 640 128 640 256
MC - s/s/t - BISK - Srinivasan <i>et al.</i> HEVC – Sem Reorganizar HEVC – Complexidade HEVC – Maior Correlação HEVC – Variância SVD	84,277	9,53 6,430 7,445 7,419 7,445 44,429	-- 64 640 128 640 256

APÊNDICE LXXV: Resultados obtidos por Dauwels *et al.* com modificações.

Camada de compressão com perdas		Parâmetros	
Método	δ	CF	PRD
SVD-Matiz	0	41,861	0,01
PARAFAC-t/dt/s		43,503	0
PARAFAC-s/s/t		35,897	0
PARAFAC-t/dt/s/s		41,177	0
Single-Channel		42,197	0,66
Wavelet-Image		49,749	0,57
Wavelet-s/s/t		53,271	0,57
SVD-Matiz	5	70,675	0,43
PARAFAC-t/dt/s		72,299	0,43
PARAFAC-s/s/t		65,035	0,45
PARAFAC-t/dt/s/s		70,414	0,43
Single-Channel		69,512	7,3
Wavelet-Image		75,728	6,22
Wavelet-s/s/t		79,080	5,96
SVD-Matiz	10	77,876	1,35
PARAFAC-t/dt/s		79,839	1,56
PARAFAC-s/s/t		72,376	1,57
PARAFAC-t/dt/s/s		78,070	1,56
Single-Channel		76,247	13,77
Wavelet-Image		82,301	10,99
Wavelet-s/s/t		84,917	9,21

APÊNDICE LXXVI: Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado pelo Dauwels *et al.*

Método	Parâmetros		
	CF	PRD	Tamanho de Janela
$\delta = 0$			
SVD-Matiz - Dauwels <i>et al.</i>		0,01	--
SVD	41,861	21,898	256
PARAFAC-t/dt/s - Dauwels <i>et al.</i>		0	--
SVD	43,503	22,594	256
PARAFAC-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		0	--
SVD	35,897	19,355	192
PARAFAC-t/dt/s/s - Dauwels <i>et al.</i>		0	--
SVD	41,177	21,615	256
Single-Channel - Dauwels <i>et al.</i>		0,66	--
SVD	42,197	22,037	256
Wavelet-Image - Dauwels <i>et al.</i>		0,57	--
SVD	49,749	25,232	320
Wavelet-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		0,57	--
SVD	53,271	26,707	320
$\delta = 5$			
SVD-Matiz - Dauwels <i>et al.</i>		0,43	--
HEVC – Complexidade	70,675	2,644	32
HEVC – Variância		2,644	32
SVD		34,824	384
PARAFAC-t/dt/s - Dauwels <i>et al.</i>		0,43	--
HEVC – Complexidade	72,299	2,661	64
HEVC – Variância		2,661	64
SVD		35,694	384
PARAFAC-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		0,45	--
SVD	65,035	31,937	384
PARAFAC-t/dt/s/s - Dauwels <i>et al.</i>		0,43	--
SVD	70,414	34,691	384
Single-Channel - Dauwels <i>et al.</i>		7,3	--
SVD	69,512	34,228	384
Wavelet-Image - Dauwels <i>et al.</i>		6,22	--
HEVC – Sem Reorganizar		2,976	64
HEVC – Complexidade	75,728	3,291	1536
HEVC – Maior Correlação		3,236	256
HEVC – Variância		3,291	1536

SVD		37,790	320
Wavelet-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		5,96	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,984	64
HEVC – Complexidade	79,080	4,547	640
HEVC – Maior Correlação		4,487	256
HEVC – Variância		4,547	640
SVD		39,893	320
$\delta = 10$			
SVD-Matiz - Dauwels <i>et al.</i>		1,35	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,601	64
HEVC – Complexidade	77,876	4,017	960
HEVC – Maior Correlação		3,961	256
HEVC – Variância		4,017	960
SVD		39,138	320
PARAFAC-t/dt/s - Dauwels <i>et al.</i>		1,56	--
HEVC – Sem Reorganizar		4,256	64
HEVC – Complexidade	79,839	4,882	640
HEVC – Maior Correlação		4,821	256
HEVC – Variância		4,882	640
SVD		40,436	320
PARAFAC-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		1,57	--
HEVC – Complexidade	72,376	2,681	64
HEVC – Variância		2,681	64
SVD		35,742	384
PARAFAC-t/dt/s/s - Dauwels <i>et al.</i>		1,56	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,663	64
HEVC – Complexidade	78,070	4,101	640
HEVC – Maior Correlação		4,043	256
HEVC – Variância		4,101	640
SVD		39,260	320
Single-Channel - Dauwels <i>et al.</i>		13,77	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,115	64
HEVC – Complexidade	76,247	3,467	1536
HEVC – Maior Correlação		3,411	256
HEVC – Variância		3,467	1536
SVD		38,116	320
Wavelet-Image - Dauwels <i>et al.</i>		10,99	--
HEVC – Sem Reorganizar		5,373	64
HEVC – Complexidade	82,301	6,147	640
HEVC – Maior Correlação		6,105	256
HEVC – Variância		6,147	640
SVD		42,644	256

Wavelet-s/s/t - Dauwels <i>et al.</i>		9,21	--
HEVC – Sem Reorganizar		6,881	64
HEVC – Complexidade	84,917	7,887	640
HEVC – Maior Correlação		7,864	128
HEVC – Variância		7,887	640
SVD		45,007	256

APÊNDICE LXXVII: Resultados encontrados por Savino *et al.* – adaptado para CF.

Sinal	CF	PRD(%)	
		H.264	JPEG200
Sem Reorganização			
chb01_02	88,493	11,260	8,630
chb01_15	87,849	5,120	3,480
Correlação			
chb01_02	88,277	11,520	8,960
chb01_15	87,500	5,210	3,550
Variância			
chb01_02	88,453	11,540	8,960
chb01_15	87,849	5,220	3,600
Complexidade			
chb01_02	88,827	11,480	9,000
chb01_15	88,277	5,160	3,480

APÊNDICE LXXVIII: Tabela com os resultados desse trabalho, comparando com valores de CF encontrado por Savino *et al.*

Método	Parâmetros		
	CF	PRD	Tamanho de Janela
Sem Reorganização			
chb01_02 - H.264 - Savino <i>et al</i> chb01_02 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>	88,493	11,260	--
HEVC – Sem Reorganizar		8,630	--
HEVC – Complexidade		9,924	64
HEVC – Maior Correlação		11,319	640
HEVC – Variância		11,303	128
SVD		11,319	640
		50,075	192
chb01_15 - H.264 - Savino <i>et al</i> chb01_15 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>	87,849	5,120	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,480	--
HEVC – Complexidade		9,260	64
HEVC – Maior Correlação		10,599	640
HEVC – Variância		10,584	128
SVD		10,599	640
		48,879	192
Correlação			
chb01_02 - H.264 - Savino <i>et al</i> chb01_02 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>	88,277	11,52	--
HEVC – Sem Reorganizar		8,96	--
HEVC – Complexidade		9,673	64
HEVC – Maior Correlação		11,078	640
HEVC – Variância		11,062	128
SVD		11,078	640
		49,673	192
chb01_15 - H.264 - Savino <i>et al</i> chb01_15 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>	87,500	5,21	--
HEVC – Sem Reorganizar		3,55	--
HEVC – Complexidade		8,945	64
HEVC – Maior Correlação		10,208	640
HEVC – Variância		10,194	128
SVD		10,208	640
		48,229	192
Variância			
chb01_02 - H.264 - Savino <i>et al</i> chb01_02 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>	88,453	11,54	--
HEVC – Sem Reorganizar		8,96	--
HEVC – Complexidade		9,878	64
		11,274	640

HEVC – Maior Correlação		11,259	128
HEVC – Variância		11,274	640
SVD		50,000	192
chb01_15 - H.264 - Savino <i>et al</i>		5,22	--
chb01_15 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>		3,6	--
HEVC – Sem Reorganizar		9,260	64
HEVC – Complexidade	87,849	10,599	640
HEVC – Maior Correlação		10,584	128
HEVC – Variância		10,599	640
SVD		48,879	192
Complexidade			
chb01_02 - H.264 - Savino <i>et al</i>		11,48	--
chb01_02 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>		9	--
HEVC – Sem Reorganizar		10,313	64
HEVC – Complexidade	88,827	11,693	640
HEVC – Maior Correlação		11,677	128
HEVC – Variância		11,693	640
SVD		50,696	192
chb01_15 - H.264 - Savino <i>et al</i>		5,16	--
chb01_15 - JPEG200 - Savino <i>et al</i>		3,48	--
HEVC – Sem Reorganizar		9,673	64
HEVC – Complexidade	88,277	11,078	640
HEVC – Maior Correlação		11,062	128
HEVC – Variância		11,078	640
SVD		49,673	192